

Датчик густини газу на основі PSoC5

Бойкиня^f А. О., ORCID [0000-0002-6788-9663](https://orcid.org/0000-0002-6788-9663)

Заворотний^g В. Ф., к.ф.-м.н. доц., ORCID [0000-0002-2240-1724](https://orcid.org/0000-0002-2240-1724)

Кафедра мікроелектроніки me.kpi.ua

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» ROR [00syn5v21](https://ror.org/00syn5v21)

Київ, Україна

Анотація—Об'єктом дослідження є MEMS сенсори густини газу. Предметом дослідження є усунення недоліків вже існуючих схожих систем, збільшення точності вимірювання і діапазону вимірюваних тисків газу і безпечне функціонування системи в критичних умовах. Метою роботи є реалізація датчику вимірювання густини газу на основі одного кристала, з використанням допоміжних функціональних модулів, для контролю роботи системи і отримати довершений функціональний прилад, який буде легкий у використанні. В ході роботи аналізуються методи визначення теплофізичних параметрів середовища з використанням первинних перетворювачів по технології MEMS, які виготовляються по структурі нагрівач, чутливий елемент і пасивні компоненти. Також описуються розрахунки для визначення, густини газу. Розглядається реалізація повного, функціонального датчика вимірювання параметрів газу на основі програмованої системи на кристалі на основі Cypress PSoC 5. У висновках роботи розглядаються як переваги так і недоліки запропонованого методу, які були обґрунтовані на основі порівняння з іншими вже відомими схожими методами.

Ключові слова — MEMS-сенсор; густина газу; система на кристалі; фазовий детектор.

I. ВСТУП

Значну частину всіх типів вимірювань, які виконуються в сучасній промисловості та науці, займають вимірювання параметрів газу рідини або іншого середовища. Це є актуально, оскільки існує багато процесів де потрібно чітко контролювати параметри середовища — тиск, густину тощо. Залежно від сфери використання газоаналізуючих систем, до них і ставлять різні вимоги, такі, як селективність, точність, мініатюризація і ціна. Найважливішим елементом всієї вимірювальної системи являється чутливий елемент. Залежно від принципу детектування густини газу, будуть різні принципи обробки сигналів і як наслідок різна точність вимірювання. На сьогодні є актуальним використання датчиків виготовлених за технологією MEMS, оскільки вони дають змогу створювати різні мініатюрні датчики, які можуть бути розміщені в досить обмеженому середовищі.

Метою роботи є розробка сенсору виміру густини газу на основі апаратної платформи PSoC 5, з використанням в ролі чутливого елемента MEMS сенсору.

В останній час, в результаті розвитку нанотехнологій, з'являється багато нових методів дослідження нашого середовища. Один із популярних це вимірювання густини газу за допомогою мікрокантилевера [1].

В цьому методі в ролі чутливого елемента використовують мікрокантилеверний пучок з області атомно-силової мікроскопії. Суть методу полягає в тому, що по всій довжині кантилевера прокладають провідник і вбудовують в нього п'єзорезистивний міст. І на не великій відстані паралельно до осі

кантилевера розташовують постійний магніт. Таким чином пропускаючи змінний струм через провідник, починає спрацьовувати сила Лоренца, яка починає коливати кантилевер. За допомогою п'єзорезистивного мосту вимірюється амплітуда коливання кантилеверу. Ідея методу полягає в тому, що резонансна частота кантилевера і амплітуда буде залежати від густини середовища, цей резонансний здвиг можна визначити з аналізу Садера [2]. Таким чином вимірявши амплітуду і резонансну частоту можна розрахувати густину газу і навіть ідентифікувати тип газу.

Але, цей метод має ряд недоліків. Один з них те, що на затухання кантилевера впливає не тільки густина і в'язкість середовища, а й затухання які викликані опорою кантилевера, а також термопружне затухання. Окрім цього було помічено, що точність вимірювання в цьому методі залежить від тиску середовища яке досліджується. Також як до недоліку можна віднести те, що такі датчики потребують належного калібрування. Метод є вірний лише для лінійного відхилення кантилевера.

Також можна виділити багатопозиційний метод вимірювання в'язкості середовища малого об'єму [3]. Тут також використовується принцип вимірювання, при якому призводять в коливальний рух кантилевер. Сама установка складається з гнучкого шарніру, кантилевера і лазерного інтерферометра. Кантилевер прикріплюється до шарніру і розташовується на певній глибині у вимірювальному середовищі. Із-за в'язких сил середовища кантилевер коливається з певним загасанням і це зміщення кантилевера фіксується лазерним інтерферометром для розрахунку загального коефіцієнту загасання. Загальний коефіцієнт



загасання залежить від глибини занурення кантилевера. В даному методі глибина занурення змінюється від 0,25 мм до 1 мм з кроком 0,25 мм. Чим більша в'язкість тим швидше зменшується загальний коефіцієнт загасання зі збільшенням глибини занурення.

Для розрахунку коефіцієнту загасання використовують вимірювання в двох точках (0,25 мм і 0,75 мм). До недоліків можна віднести те, що даний метод розрахований для вимірювання середовищ маленького об'єму до 15 мкл. На результати вимірювання впливає ширина вимірювального середовища, глибина занурення сенсора і температура. Також незручним є те, що вимірювання одного зразка триває приблизно 2 хв.

Для даної реалізації системи для вимірювання густини газу, будемо використовувати методуку в якій визначення густини газу буде визначатися за рахунок теплофізичних характеристик газу — теплоємності та теплопровідності в мікроскопічних об'ємах, а саме по теплообміну через газ між нагрівальним елементом та близько розташованим від нього тепловим сенсором по стаціонарній та нестаціонарній складовій теплообміну одночасно [4] та [5].

В цьому способі через нагрівальний елемент пропускають електричний струм в періодичному режимі за гармонійним законом, вимірюють зсув фази коливання температури газу на відстані d від нагрівального елемента по відношенню до фази коливання температури нагрівального елемента, а густину визначають за формулою (1).

$$\rho = A \frac{\sqrt{T}}{\omega} \times \left(\frac{\Delta\phi}{d} \right)^2, \quad (1)$$

де T – температура газу; ω – частота температурних коливань; $\Delta\phi$ – зсув фази температурних коливань на відстані d ; A – константа.

Якщо константа A невідома з попередніх вимірювань, тоді спочатку визначають її. Для цього розміщують в газі з відомою густиною ρ_0 нагрівальний елемент, пропускають через нього струм, що змінюється за гармонічним законом $I = I_0 (1 + \sin(\omega t))$ і вимірюють температуру газу та частоту коливань струму. Відносно коливань струму, вимірюють фазу коливань температури нагрівального елемента ϕ_1 та фазу коливань температури газу ϕ_2 на відстані d від нагрівального елемента за допомогою малоінерційного термометра. Після визначення різниці фаз, визначають константу A за формулою (2).

$$A = \frac{\rho_0 \omega}{\sqrt{T}} \times \left(\frac{d}{\Delta\phi} \right)^2, \quad (2)$$

де ρ_0 – відома густина газу.

Потім підставляється відоме вже значення параметру A в формулу для розрахунку густини (1) [4].

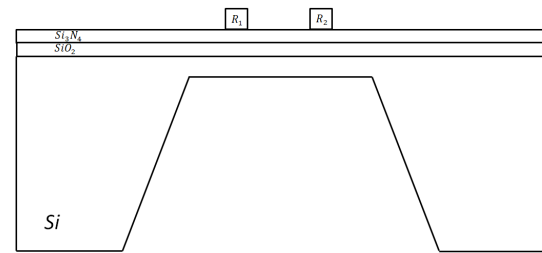


Рис. 1 Структура чутливого елемента

II. РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДУ

Для реалізації цього методу, будемо використовувати MEMS термочутливий елемент. Оскільки ми працюємо з тепловими хвилям, нам потрібний малоінерційний, швидкодіючий терморезистор, який мусить бути як омега краще термоізольований від підкладки і при цьому ж мати високу механічну міцність. Для цього використовуємо наступну MEMS структуру рис. 1.

Особливість цієї структури полягає в тому, що тут є двошарова діелектрична мембрана з SiO_2 і Si_3N_4 товщиною (0,15-0,4 мкм) [6]. Для зменшення теплових втрат, підкладку витравлюють і таким чином утворюється мікроміст, на якому розташована активна область [7] та [8]. $R1$ і $R2$ це резистивний нагрівач і приймач відповідно. В залежності від максимальної температури нагрівання, підбирають відповідний матеріал для резистивного нагрівача. В даному випадку можна використати нагрівач на полімерній основі з максимальною температурою 100°C. В статті [9] наведено можливі матеріали для виготовлення резистивного нагрівача в залежності від максимальної температури нагріву.

У якості термочутливого елемента можна використати плівковий терморезистор з Ni , Pt товщиною 0,1-0,2 мкм.

Можна використати і більш традиційніші терморезистори на основі полікристалічних оксидних матеріалів [10]. Найпростіше, що можна застосувати це полікристалічний кремній.

Проаналізувавши метод розрахунку густини газу, визначено, що параметри ω і d є константами. Тобто, частота з якою будуть генеруватися теплові хвилі задається програмою на початку роботи, а відстань d між термоприймачем і термогенератором є завжди стала. Отже для повного набору даних, для вимірювання густини потрібно розробити систему яка буде вимірювати температуру середовища і зсув фаз між сигналами на термогенераторі і теплоприймачем. Для розробки системи яка буде вимірювати необхідні параметри, обробляти їх і передавати користувачу, будемо використовувати програмовану систему на кристалі PSoC 5.

Для реалізації даної системи була обрана програмована система PSoC 5, так як вона має достатні апаратні ресурси для аналогової і цифрової обробки сигналів (цифрові блоки логіки, таймери, лічильники,

аналогові блоки операційних підсилювачів, підсилювач з програмованим коефіцієнтом підсилення, компаратори) [11] і дозволяє гнучко використовувати їх шляхом конфігурування (реконфігурування під час виконання) апаратного забезпечення в середині мікросхеми. Також є в наявності потужні 32-х розрядне ядро ARM Cortex M3, 24-х розрядний процесор цифрових фільтрів з фіксованою точкою і 24 КБ оперативної пам'яті, що дає змогу швидко контролювати, обробляти і зберігати оперативні дані [12].

Загалом PSoC 5 це електронна схема, яка виконує функції певного пристрою і розміщена на одній мікросхемі. PSoC на відміну від класичних мікроконтролерів (AVR, STM32 і т. д.) має перевагу в тому, що вона не має фіксованої периферії. Тобто розробник має можливість самому вирішувати який функціонал буде мати чіп. Цим PSoC схожий на FPGA, але в додачу PSoC має ще конфігуровану аналогову периферію.

Для визначення температури середовища яке будемо досліджувати, використовуємо рівняння Стейнхарт-Харта (3) [13].

$$T_c = \frac{1}{A + B \ln(R) + C \ln^3(R)} - 273,15, \quad (3)$$

де A, B, C – коефіцієнти Стейнхарт-Харта [14]; R – опір терморезистора в Омх; T_c – температура в Цельсіях.

Коефіцієнти A, B, C визначаються методикою Стейнхарт-Харта [13]. Опір R визначаємо за допомогою вимірювальної схеми рис. 2, де $R1$ опорний резистор, а $R2$ це терморезистор. Сигнал в вигляді напруги подається на PSoC і розраховується опір терморезистора за формулою (4).

$$R_t = \frac{U_{R_t} \times R_{ref}}{U_{ss} - U_{R_t}}, \quad (4)$$

де R_t – опір терморезистора; U_{R_t} – напруга на терморезисторі; R_{ref} – опір опорного резистора; U_{ss} – напруга живлення.

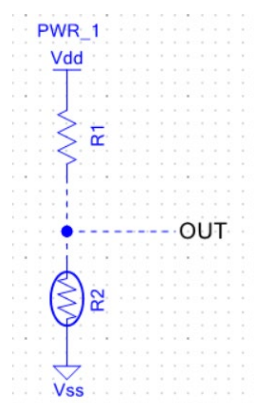


Рис. 2 Схема вимірювання температури

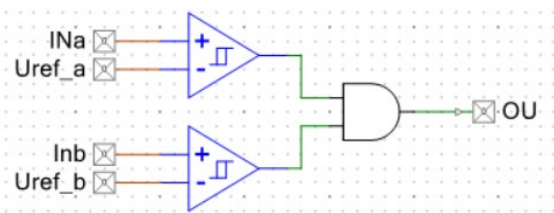


Рис. 3 Схема фазового детектора

Після визначення температури вимірювального середовища, починається вимірювання зсуву фаз між сигналом який подається на нагрівач і сигналом з терморезистора який детектує теплову хвилю. Для визначення різниці фаз подаємо ці два сигнали на схему яка називається фазовим детектором рис. 3.

Схема фазового детектора складається з двох компараторів, вихід кожного з яких підключений до логічного елемента [15]. Змодельована часова характеристика схеми фазового детектора представлена рис. 4. На рис. 4а, показано результат роботи одного з компараторів. Тобто ця схема детектує позитивну фазу синусоїдального сигналу, при позитивній фазі цього сигналу на виході компаратора формується прямокутний цифровий сигнал. На рис. 4б, зсимульовано синусоїдальні сигнали які приходять з термосенсора і термогенератора з різницею фази 90 градусів. Різниця фази між цими сигналами буде за рахунок того, що різне середовище має власну швидкість теплопередачі. Вихідні сигнали на компараторах рис. 4в мають спільну область, ця область і є корисною, оскільки її довжина вказує на різницю фаз між сигналами. Чим довший сигнал на виході фазового детектора (рис. 4г.), тим меша різниця фаз [16].

Реалізація вимірювальної системи на основі PSoC5 представлена на рис. 5. Резистор $R3$ відіграє роль резистивного нагрівача. Синусоїдальний сигнал генерується за допомогою вбудованого цифро-аналогового перетворювача (WaveDAC8), вихідним сигналом якого може бути як струм так і напруга. Цей блок надає можливість розробнику як гнучко керувати параметрами сигналу так і взагалі задавати будь які форми сигналу.

Масив відцифрованих значень сигналів передається по USBFS на персональний комп'ютер, для збереження даних на жорсткому диску для подальшої обробки сигналу. USB PSoC налаштовано як HID (клас пристроїв USB для взаємодії з користувачем).

Це дозволяє використовувати стандартний драйвер операційної системи для пристроїв.

Потім збережені дані передаються в програму яка вже за заданими алгоритмами розраховує кінцевий результат. Програма має головне вікно з полями для введення розмірів вибірки, відображення основних параметрів і поточної температури газу.

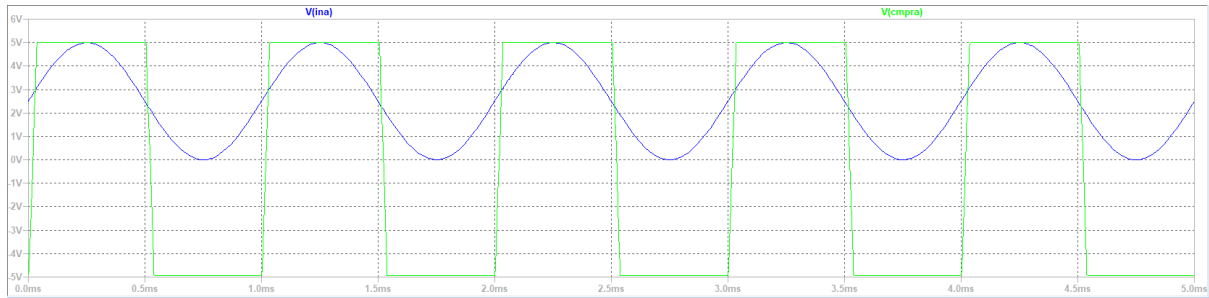
В даному прикладі використовується дротова передача даних між ПК і PSoC5. Але за потреби, для більш мобільного використання пристрою можна без проблем забезпечити бездротову передачу даних. Це

реалізується додаванням до PSoC5 додаткової мікросхеми PРоC (програмований радіоканал на кристалі). PРоC це повна радіосистема яка розроблена для реалізації недорогих бездротових систем, котрі працюють на частоті 2,4ГГц.

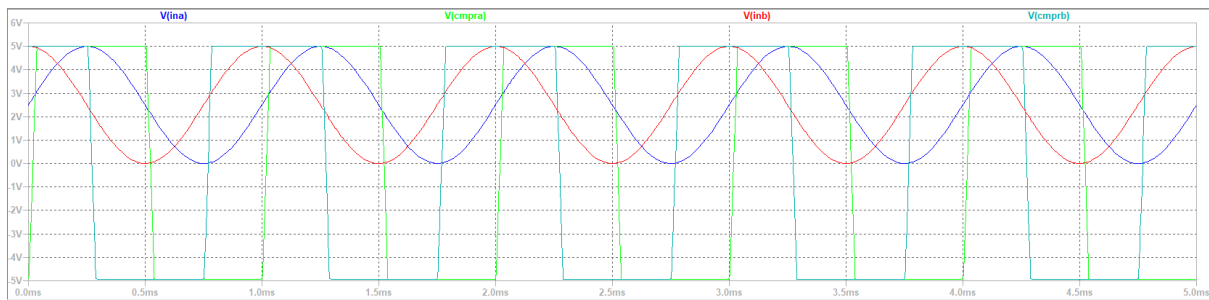
вимірювання, сигнал з персонального комп'ютера через USB надходить PSoC 5 для початку вимірювання. На рис. 6 показана блок-схема алгоритму і розподілу функцій між персональним комп'ютером і PSoC 5.

III. ПРИНЦИП РОБОТИ ПРИСТРОЮ

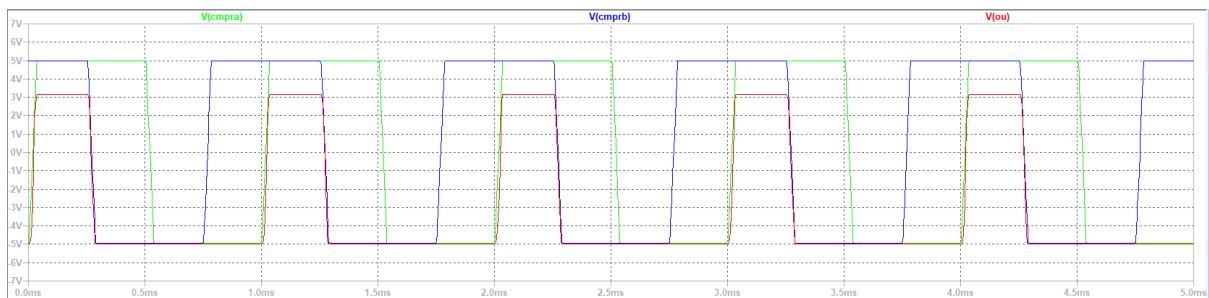
PSoC 5 керується додатком, встановленим на персональний комп'ютер. При наданні команди для



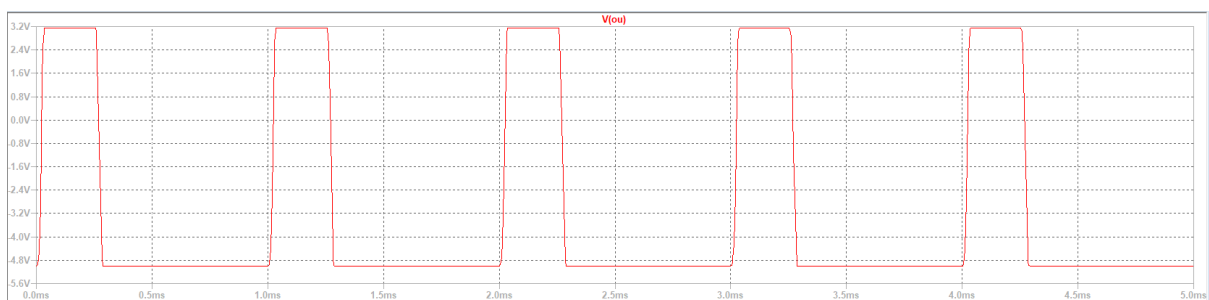
а)



б)



в)



г)

Рис. 4 Часові характеристики схеми фазового детектора (а) вхідний і вихідний сигнал на компараторі, (б) вхідний і вихідний сигнал на двох компараторах, (в) вихідні сигнали на компараторах і на самій схемі, (г) вихідний сигнал схеми фазового детектора.

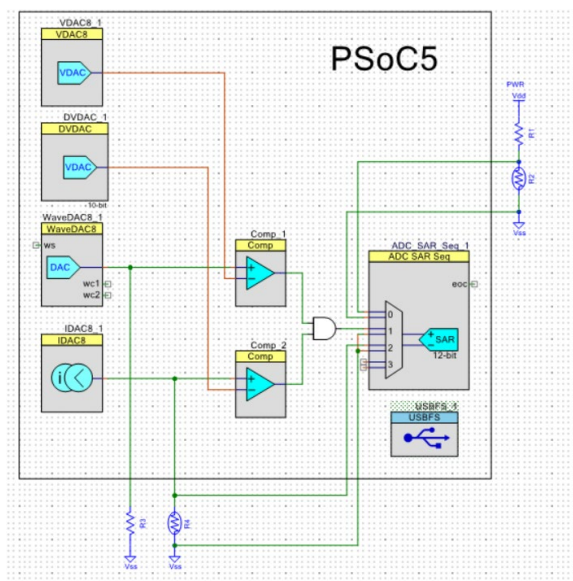


Рис. 5 Вимірювальна схема на основі програмової системи на кристалі PSoC 5.

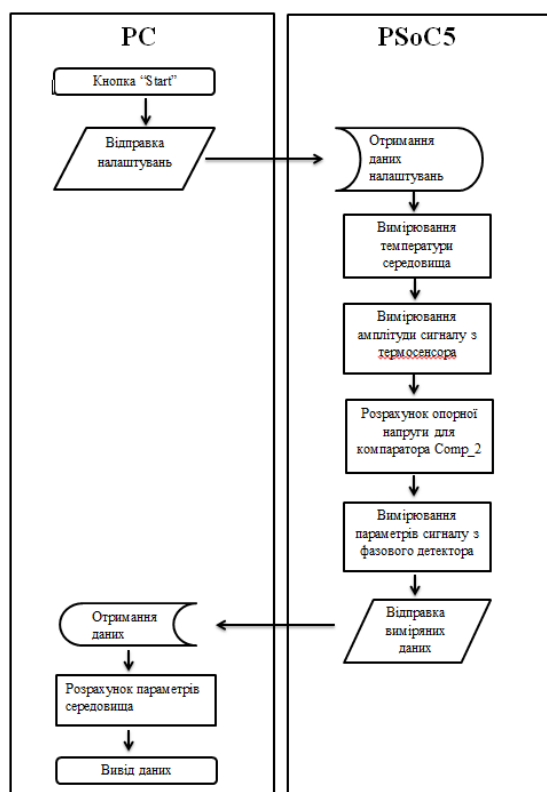


Рис. 6 Блок-схема алгоритму роботи пристрою

Після отримання сигналу з ПК, PSoC5 починає вимірювати температуру середовища за допомогою терморезистора R_2 . В цей момент подається синусоїдальний сигнал з WaveDAC8 на нагрівальний елемент R_3 і таким чином генерується теплова хвиля яка детектується термосенсором R_4 . Термосенсор живиться від цифро-аналогового перетворювача IDAC8, який використовується як джерело струму. Далі вимірюється амплітуда сигналу з термосенсора R_4 і розраховується опорна напруга компаратора Comp_2. Значення опорної напруги буде дорівнювати половині від суми максимального і мінімального значення амплітуди сигналу який подається на цей компаратор. Розраховане значення опорної напруги подається з цифро-аналогового перетворювача DVDAC. І далі вимірюється сигнал вже з фазового детектору. Роздільна здатність ЦАП може бути встановлена від 9 до 12 біт.

Вихідний сигнал з фазового детектору відцифровується за допомогою АЦП ADC_SAR_Seq_1. Всі вимірювальні напруги через вбудований мультіплексор надходять на АЦП SAR для відцифрування з точністю від 8 до 12 біт.

Відцифровані сигнали зберігаються в RAM PSoC5 і після цього система вимикає джерело синусоїдального сигналу, припиняє подачу усіх опорних напруг і передає дані з оперативної пам'яті PSoC5 на комп'ютер через USB [17]. Далі вже отримані дані обробляються програмою і розраховуються основні параметри, які виводяться у вікні програми для користувача. Для реалізації цієї вимірювальної системи потрібно мінімум дискретних елементів - мікросхема PSoC5, резистори, термосенсиори, і термогенератор які виконані у вигляді резисторів. Особливим є звичайно термосенсор, оскільки він виготовлений за технологією MEMS.

ВИСНОВКИ

В роботі запропоновано оригінальне рішення датчика густини газу з мініатюрною конструкцією, що реалізується з мінімальними витратами. При цьому отримуємо повноцінний пристрій, який за лічені секунди точно вимірює густину середовища. Використання програмованої системи на кристалі PSoC5 дозволяє нам використовувати цей пристрій для різних зразків середовища не переконфігуровуючи самий пристрій, оскільки PSoC5 має можливість динамічно реконфігуровуватися в процесі виміру. І це дає можливість проводити виміри середовищ з різними температурами. Тобто під час вимірювання можна адаптувати нашу систему під різні параметри вимірювальних зразків.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] B. Badarlis, A. Pfau and A. Kalfas, "Measurement and Evaluation of the Gas Density and Viscosity of Pure Gases and Mixtures Using a Micro-Cantilever Beam," *Sensors*, vol. 15, no. 9, pp. 24318-24342, 22 09 2015. DOI: [10.3390/s150924318](https://doi.org/10.3390/s150924318)
- [2] Y. Zheng, H. Zhang, M. Zhao, H. Xin, C. A. T.H. Tee and L. Song, "A Multiposition Method of Viscous Measurement for Small-Volume Samples With High Viscous," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 69, no. 7, pp. 4995 - 5001, 01 07 2020. DOI: [10.1109/TIM.2019.2955188](https://doi.org/10.1109/TIM.2019.2955188)



- [3] J. E. Sader, "Frequency response of cantilever beams immersed in viscous fluids with applications to the atomic force microscope," *Journal of Applied Physics*, vol. 84, no. 1, pp. 64-76, 01 07 1998. DOI: [10.1063/1.36800](https://doi.org/10.1063/1.36800)
- [4] V. F. Zavorotnyi, O. V. Borysov, B. I. Lupyna and S. M. Osinov, "Method for Determining Density of Gas". Ukraine, Kyiv Patent 18749, 15 11 2006. URL: <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=112724>
- [5] S. Z. Al Ghafri, F. Jiao, T. J. Hughes, A. Arami-Niya, X. Yang, A. Siahvashi, A. Karimi and E. F. May, "Natural gas density measurements and the impact of accuracy on process design," *Fuel*, vol. 304, p. 121395, 01 11 2021. DOI: [10.1016/j.fuel.2021.121395](https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121395)
- [6] V. F. Zavorotnyi, "Method for Measurement of Flow of Gases and Liquids". Ukraine, Kyiv Patent 96834, 12 12 2011. URL: <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=166985>
- [7] V. V. Krapukhin, I. A. Sokolov and G. D. Kuznetsov, *Tekhnologiya materialov elektronnoy tekhniki. Teoriya protsessov poluprovodnikovoy tekhnologii* [Technology of electronic materials. Theory of semiconductor technology processes.], Moscow: MISIS, 1995. ISBN: 5-87623-004-9
- [8] L. A. Koledov, *Tekhnologiya i konstruksii mikroskhem, mikroprotessorov i mikrosborok: Uchebnik dlya vuzov* [Technology and design of microcircuits, microprocessors and microassemblies: Textbook for universities.], Moscow: Radio i svyaz, 1989. ISBN: 5-256-00142-6
- [9] Shelekhov I. YU., Shishelova T. I., Zhitov V. G. "Rezistivnyye ploskiye nagrevateli i elektrootopitel'nyye pribory na ikh osnove [Resistive flat heaters and electric heaters based on them]," *Modern high technologies*. no 4-2, 2016. pp. 285-289. URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=35819>.
- [10] E. D. Macklen, "NTC Thermistor Materials," in *Concise Encyclopedia of Advanced Ceramic Materials*, R. J. Brook, Ed., Elsevier Ltd, 1991, pp. 328-331. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-034720-2.50091-5>
- [11] Cypress Semiconductor, "PSoC 5LP Architecture TRM (Technical Reference Manual)," 06 11 2019. [Online]. Available: https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-PSoC5LP_Architecture_TRM-AdditionalTechnicalInformation-v08_00-EN.pdf?fileId=8ac78c8c7d0d8da4017d0f905e3e7ce9&utm_source=cypress&utm_medium=referral&utm_campaign=202110_globe_en_al_l_integration-files.
- [12] E. H. Currie and D. Van Ess, *PSoC3/5 Reference Book*, San Jose, California: Cypress Semiconductor Corporation, 2010, p. 534. URL: http://web.mit.edu/6.115/www/document/psoc_book.pdf
- [13] H. Fatoorehchi, M. Alidadi, R. Rach and A. Shojaeian, "Theoretical and Experimental Investigation of Thermal Dynamics of Steinhart-Hart Negative Temperature Coefficient Thermistors," *Journal of Heat Transfer*, vol. 141, no. 7, 20 05 2019. DOI: [10.1115/1.4043676](https://doi.org/10.1115/1.4043676)
- [14] J. S. Steinhart and S. R. Hart, "Calibration curves for thermistors," *Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts*, vol. 15, no. 4, pp. 497-503, 01 08 1968. DOI: [10.1115/1.4043676](https://doi.org/10.1115/1.4043676)
- [15] L. E. Frenzel, "Electronic Circuits: Linear/Analog: The Building Blocks of Electronic Equipment," in *Electronics Explained*, Second ed., Elsevier, 2018, pp. 63-102. DOI: [10.1016/B978-0-12-811641-8.00004-7](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811641-8.00004-7)
- [16] K. Park and D. Jeong, "Analysis of frequency detection capability of Alexander phase detector," *Electronics Letters*, vol. 56, no. 4, pp. 180-182, 01 02 2020. DOI: [10.1049/el.2019.3488](https://doi.org/10.1049/el.2019.3488)
- [17] V. F. Zavorotnyi and O. V. Borisov, "The laboratory tester of solar cells with dynamic reconfiguration of measuring system," *Microsystems, Electronics and Acoustics*, vol. 23, no. 1, p. 23-29, 28 02 2018. DOI: [10.20535/2523-4455.2018.23.1.104069](https://doi.org/10.20535/2523-4455.2018.23.1.104069)

Надійшла до редакції 24 травня 2022 р.

Прийнята до друку 29 серпня 2022 р.



Gas Density Sensor Based on PSoC5

A. O. Boikynia^f, ORCID [0000-0002-6788-9663](https://orcid.org/0000-0002-6788-9663)

V. F. Zavorotnyi^s, PhD Assoc.Prof., ORCID [0000-0002-2240-1724](https://orcid.org/0000-0002-2240-1724)

Department of Microelectronics me.kpi.ua

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” ROR [00syn5v21](https://ror.org/00syn5v21)
Kyiv, Ukraine

Abstract—A significant part of all types of measurements performed in modern industry and science are measurements of gas, liquid or other media. This is important because there are many processes where you need to clearly control the parameters of the environment - pressure, density, etc. The object of research are MEMS gas density sensors. The subject of the research is to eliminate the shortcomings of existing similar systems, increase the accuracy of measurement and range of measured gas pressures and safe operation of the system in critical conditions. The aim of the work is to implement a gas density sensor based on a crystal, using auxiliary functional modules, to monitor the operation of the system and to obtain a sophisticated functional device that will be easy to use. Several prototypes are considered, where a miniature cantilever is used as a sensitive element. The disadvantage of such systems is that the accuracy of measurement depends on the support of the cantilever and the gas pressure. Also in the prototype [3] it is noted that the measurement time of one sample lasts about 2 minutes, which is very significant. In the course of work the methods of determination of thermophysical parameters of the environment with use of primary converters on MEMS technology which are made on structure of a heater, a sensitive element and passive components are analyzed. Calculations for determination of gas density are also described. The implementation of a complete, functional sensor for measuring gas parameters based on a programmable system on a crystal based on Cypress PSoC 5 is considered. This system allows us to implement a complex measuring device on almost one crystal because this system has in its structure a certain set of already built-in analog and digital units. The main advantage of PSoC5 is the ability to dynamically reconfigure the system during operation. That is, having one set of elements, we can build on it a number of different schemes without stopping the measurement process. PSoC Designer software configures built-in units such as DAC, iDAC, ADC. The configuration of these units and connection to them of external elements, such as thermistors and a thermal heater are given. Simulation of the given scheme is carried out and results in a graphic kind are resulted. The main principle of the device is the dependence of temperature attenuation on the environment. The idea is to compare the phase shift between two harmonic signals. One signal is a reference signal, and the other is a signal that is recorded by a thermal sensor after the temperature wave passes through the measuring medium. Since this signal will pass with a certain delay then the phases of the reference signal and the measured will be shifted. Therefore, the phase difference between these signals will depend on the density of the medium through which the heat wave passes. In the conclusion of work both advantages and lacks of the offered method which have been proved on the basis of comparison with other already known similar methods are considered.

Keywords — MEMS sensor; gas density; system on a crystal; phase detector.

