

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства
та природокористування
Кафедра прикладної математики

04-01-46

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт
та самостійної роботи з навчальної дисципліни
«Сенсори і виконавчі елементи»

для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня
за освітньо-професійною програмою «Інтернет речей»
спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення»
денної форми навчання

Рекомендовано
науково-методичною радою з якості
ННІ Автоматики, кібернетики та
обчислювальної техніки
протокол №8 від 29.04.2020 р.

Рівне – 2020

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт та самостійної роботи з навчальної дисципліни «Сенсори і виконавчі елементи» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Інтернет речей» спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення» денної форми навчання [Електронне видання] / Клімов С. В. – Рівне : НУВГП. 2019. – 39 с.

Укладач: Клімов С. В. – завідувач кафедри гідроінформатики к.т.н., доцент.

Відповідальний за випуск: Мартинюк П. М. – завідувач кафедри прикладної математики, д.т.н., доцент.

Керівник групи забезпечення спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення» _____ Жуковська Н. А.

© Клімов С. В., 2019

© НУВГП, 2019

Зміст

1. Вступ.....	5
1.1. Анотація	5
1.2. Ключові слова.....	5
2. Мета та завдання навчальної дисципліни	6
2.1. Мета.....	6
2.2. Завдання	6
2.3. Компетентності	6
2.4. Програмні результати навчання	7
2.5. Знати та вміти	7
3. Програма навчальної дисципліни	8
3.1 Змістовий модуль 1. Сенсори	8
Тема 1. Загальна класифікація, основні вимоги та параметри вимірювальних перетворювачів (сенсорів)	8
Тема 2. Метрологічні основи вимірювань.....	8
Тема 3. Класифікація вимірювальних перетворювачів фізичних величин.....	9
Тема 4. Статичні та динамічні характеристики вимірювальних перетворювачів	9
Тема 5. Резистивні перетворювачі	9
Тема 6. Сенсори газу	9
Тема 7. Фотоелементи	10
Тема 8. Сенсори для визначення якості води.....	10
Тема 9. Сенсори тиску.....	10
Змістовий модуль 2. Виконавчі елементи.....	10
Тема 10. Виконавчі елементи	10

Тема 11. Силове обладнання та типи трансмісії машин	10
4. Теми лабораторних занять.....	11
5. Розподіл самостійної та індивідуальної роботи	12
7. Індивідуальне навчально-дослідне завдання	13
8. Методи контролю	13
9. Рекомендована література дисципліни.....	14
10. Лабораторні роботи.....	17
10.1. Лабораторна робота №2.....	17
1. Теоретичні відомості	17
1.1. Датчики температури	17
1.2. Датчики температури з платини і нікелю.....	17
1.3. Вимірювальні схеми	19
2. Порядок виконання роботи	22
Довідкові дані.....	25
Література до лабораторної роботи №2.....	26
10.2. Лабораторна робота №3.....	26
1. Теоретичні відомості	27
2. Сфери застосування датчиків.....	28
3. Принцип роботи та класифікація датчиків	28
4. Схеми включення.....	35
5. Режим надсилання команд в OPC-N3	36
6. Література до лабораторної роботи №3.....	39

1. ВСТУП

Навчальна дисципліна «Сенсори і виконавчі елементи» розроблена відповідно до стандарту вищої освіти України за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення» ([наказ МОН України № 1166 від 29.10.2018 р.](#)), освітньо-професійної програми «Інтернет речей» ([НУВГП, 2017 р.](#)) та навчального плану (2017 р.) зі спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення».

1.1. Анотація

Сучасний світ неможливий без різного роду вимірювальних пристроїв. Сенсори є вихідними елементами технічних систем вимірювання, сигналізації, регулювання, керування приладами та процесами. А реалізують робочу функцію технічних систем виконавчі елементи. Тому фахівцю, зокрема бакалавру з інженерії програмного забезпечення необхідні базові знання про особливості конструкції сенсорів та виконавчих елементів, їх основні види та технологічні особливості застосування.

Місце дисципліни в структурно-логічній схемі підготовки

Дисципліни, що передують вивченню даної дисципліни:

Цифрова схемотехніка, фізика, основи програмної інженерії, електротехніка та комп'ютерна електроніка

Дисципліни, які вивчаються одночасно з даною дисципліною:

Бази даних, теорія систем, системний аналіз та теорія прийняття рішень,

Дисципліни, вивчення яких спирається на дану дисципліну

Основи цифрової обробки сигналів, мікроконтролери та їх програмування, платформи інтернету речей

1.2. Ключові слова

[Сенсор](#), [давач](#), [вимірювальний прилад](#), [вимірювальний перетворювач](#), [фізична величина](#), [виконавчий елемент](#), [привод](#).

Keywords: [Sensor](#), [encoder](#), [measuring instrument](#), [transducer](#), physical value, [actuator](#).

2. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

2.1. Мета

Основною **метою** викладання дисципліни «Сенсори і виконавчі елементи» є формування у майбутніх фахівців знань про сучасні датчики та виконавчі елементи, принцип їх роботи, основні види та конструктивні особливості а також розвиток вміння з підбору сенсорів і виконавчих елементів з урахуванням призначення, особливостей умов експлуатації та вимог до точності і стабільності роботи.

2.2. Завдання

Основними **завданнями**, що мають бути вирішені в процесі викладання дисципліни, є:

- сформувані уявлення про основні компоненти навчальної дисципліни «Сенсори і виконавчі елементи»;
- сформувані структуровані знання про сучасні датчики і виконавчі елементи, принципи їх роботи, конструктивні особливості та варіанти застосування;
- сформувані навички раціонального підбору сенсорів та виконавчих елементів для виконання заданих функції з урахуванням особливих метрологічних вимог та умов експлуатації.

Дана навчальна дисципліна надає можливість здобувачу вищої освіти набути відповідні компетентності для досягнення **цілей навчання** за спеціальністю, зокрема для впровадження і супроводу інтелектуальних систем аналізу й обробки даних організаційних, технічних, природничих і соціально-економічних систем.

2.3. Компетентності

Навчальна дисципліна надає можливість студентам оволодіти наступними компетентностями:

Загальні компетентності:

Стандарт вищої освіти за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення»

- K01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.
- K02. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
- K05. Здатність вчитися й оволодівати сучасними знаннями.
- K06. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

Спеціальні (фахові, предметні) компетентності:

K21. Здатність оцінювати і враховувати економічні, соціальні, технологічні та екологічні чинники, що впливають на сферу професійної діяльності.

Освітньо-професійної програми «Інтернет речей»

СК10. Здатність застосовувати методології, технології та інструментальні засоби для управління процесами життєвого циклу інформаційних і програмних систем, продуктів і сервісів інформаційних технологій відповідно до вимог замовника.

2.4. Програмні результати навчання

Стандарт вищої освіти за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення»

ПР01 Аналізувати, цілеспрямовано шукати і вибирати необхідні для вирішення професійних завдань інформаційно-довідникові ресурси і знання з урахуванням сучасних досягнень науки і техніки.

ПР14 Застосовувати на практиці інструментальні програмні засоби доменного аналізу, проєктування, тестування, візуалізації, вимірювань та документування програмного забезпечення.

Освітньо-професійної програми «Інтернет речей»

ПР8. Використовувати методологію системного аналізу об'єктів, процесів і систем для задач аналізу, прогнозування, управління та проєктування динамічних процесів в макроекономічних, технічних, технологічних і фінансових об'єктах.

2.5. Знати та вміти

Після вивчення даної навчальної дисципліни студенти повинні:

знати: класифікацію, будову і принцип дії основних типів сенсорів і виконавчих елементів; сфери застосування та особливості їх роботи; основи підбору сенсорів і виконавчих елементів; основні напрямки розвитку.

вміти:

- визначати експериментально статичні та динамічні характеристики сенсорів і виконавчих елементів;
- вибирати сенсори і виконавчі елементи для реалізації конкретної задачі;
- аналізувати якість роботи сенсорів і виконавчих елементів з метою підвищення ефективності їх роботи;
- працювати з сенсорами і виконавчими елементами.

3. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

3.1 Змістовий модуль 1. Сенсори

Тема 1. Загальна класифікація, основні вимоги та параметри вимірювальних перетворювачів (сенсорів)

Мета і завдання дисципліни. Опис навчальної дисципліни (структура освітнього компонента, методи навчання, формування індивідуальних освітніх траєкторій – вибір тем індивідуальних навчально-дослідницьких завдань, формування, при необхідності індивідуальних форм та методів навчання, форми та методи оцінювання, рекомендована література).

Аналогії між процесами одержання, обробки і перетворення сигналів у біологічних і технічних системах. Будова сприймаючої системи з одержанням, обробкою і перетворенням сигналу. Основні терміни та визначення. Вимоги до сучасної вимірювальної техніки. Класифікація аналогових вимірювальних приладів.(1–4)

Тема 2. Метрологічні основи вимірювань

Метрологічна термінологія. Основні метрологічні поняття. Математичний vs фізичний напрямки в теорії вимірювань. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність», Національний стандарт України «Системи керування вимірю-

ванням» «Вимоги до процесів вимірювання та вимірювального обладнання»

ДСТУ ISO 10012:2005 (ISO 10012:2003, IDT). Одиниці вимірювання. Класифікація методів і способів вимірювання. Класифікація засобів вимірювальної техніки (ЗВТ). Основні характеристики ЗВТ. Система забезпечення єдності вимірювань. Державний метрологічний нагляд. (1,4–6)

Тема 3. Класифікація вимірювальних перетворювачів фізичних величин

Первинні та вторинні вимірювальні перетворювачі (ВП). Загальна класифікація ВП – генераторні (активні) і параметричні (пасивні) ВП. Датчики дискретних параметрів. Основна статична характеристика ВП. Класифікація ВП за виглядом функції перетворення та за фізичними закономірностями, покладеними в основу принципу дії. (1,4,7,8)

Тема 4. Статичні та динамічні характеристики вимірювальних перетворювачів

Основні статичні характеристики вимірювальних перетворювачів. Перетворювальні характеристики. Чутливість та похибки ВП. (1,4,8)

Тема 5. Резистивні перетворювачі

Контактні перетворювачі. Реостатні і потенціометричні датчики. Тензорезистори (фольгові, дротяні, напівпровідникові) – класифікація, основні характеристики, принцип дії (явище тензоефекту), схеми підключення, тензодатчики на їх основі. Напівпровідникові тензорезистори – переваги і недоліки, матеріали, класифікація (гетероепітаксійні, дифузійні / p'езорезистори), властивості і характеристики напівпровідникових тензорезисторів. Терморезистор, термістор. Термостат термореле W1219 (1,8–14).

Тема 6. Сенсори газу

Класифікація за принципом дії. Інфрачервоні, електрохімічні, напівпровідникові, фотоіонізаційні датчики газу. Термохімічні (термокаталітичні) датчики – принцип дії, особливості конструкції, застосування та схеми включення. Каталітичні датчики газу W1219. Огляд газоаналізаторів: термомагнітні, оптичні абсорбційні в ІЧ-області спектра, інші. (1,4,8,15)

Тема 7. Фотоелементи

Вакуумні та газонаповнені фотоелементи – конструкція, принцип роботи, застосування. Основні типи фотоелементів: з масивним непрозорим фотокатодом, з масивним невеликим катодом, імпульсні надточні елементи з фотокатодом на металевій підкладці. Фотореле. Напівпровідникові фотоелектричні перетворювачі енергії. Датчики УФ випромінювання. (1,4)

Тема 8. Сенсори для визначення якості води

Хімічні і фізичні властивості води. Хімічний склад природних вод. Показники якості води. Система моніторингу та екологічної оцінки водних ресурсів України (<http://monitoring.davr.gov.ua/EcoWaterMon/GDKMap/Index>). Інтерактивні дані про стан природних вод України (<http://texty.org.ua/water/>). Відкритий реєстр якості води. Жорсткість води – види, способи та методики визначення жорсткості. (16–18).

Тема 9. Сенсори тиску

Терміни: абсолютний, надлишковий, диференціальний, вакууметричний, барометричний тиск. Класифікація сенсорів тиску – деформаційні (мембрани, сільфони, дифманометри, трубка Бурдона), електричні (ємнісні, п'єзоелектричні, тензорезисторні). Класифікація сенсорів тиску – волоконно-оптичні, гальваномагнітні, об'ємного стиску, акустичні, дифузійні та ін.

Рішення на основі сенсорів тиску – Тензорезисторний датчик тиску DSP-01 + HART-Модем + Міні WEB-сервер Globus (<http://grempis.com.ua/globus/>), Моніторинг ресурсів на основі Датчику тиску для води, газу, повітря SmartMac (<https://store.smart-mac.com/>). (19–21).

Змістовий модуль 2. Виконавчі елементи

Тема 10. Виконавчі елементи

Місце виконавчого механізму (ВМ) у системі автоматичного регулювання (САР). Приводи – загальна класифікація (гідравлічні, пневматичні, електричні).

Тема 11. Силове обладнання та типи трансмісії машин

Силове обладнання машин (Дизельні, бензинові і газові ДВЗ, електричні, пневмо- та гідродвигуни). Трансмісія – механічна, гідравлічна. (22)

4. ТЕМИ ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		ДФ	ЗФ
1	2	3	4
1	Ознайомлення з базовими приладами для визначення основних властивостей ґрунту, води, повітря.	2	
2	Порівняльний аналіз основних статичних характеристик датчиків (на прикладі датчиків температури).	2	2
3	Вивчення конструкції та принципу роботи сенсорів газу на прикладі газоаналізатора ГЛ – 1122.	2	
4	Аналіз основних характеристик датчиків монооксиду вуглецю.	2	2
5	Ознайомлення з будовою, принципом роботи та діагностуванням датчиків кисню.	2	2
6	Ознайомлення з датчиками вмонтованих систем діагностування автомобілів On-Board Diagnostics (OBD-2)	2	
7	Дослідження первинних перетворювачів для визначення витрат води (вимірювач швидкості течії електромагнітного типу Model 801) та швидкості повітря (Pro Micro ATmega32U4 5V 16 МГц.)	4	2
8	Дослідження сенсорів для виміру фізичних властивостей води (TDS Meter, pH meter ...)	2	
9	Дослідження сенсорів для визначення властивостей ґрунту (воломіри Днестр-1, Датчик вологості модуль для arduino макетной платы DIY)	2	2
10	Ознайомлення з датчиками, що забезпечують функціонування системи «розумний будинок» на базі підприємства	6	
	Разом	26	10

5. РОЗПОДІЛ САМОСТІЙНОЇ ТА ІНДИВІДУАЛЬНОЇ РОБОТИ

Розподіл 81 годин самостійної роботи для студентів денної форми навчання:

27 годин – вивчення літератури по курсу і розробка лекційних конспектів $(28+26) \times (0,5 \text{ год} / 1 \text{ год аудиторних занять})$;

27 годин – підготовка до контрольних заходів (6 год на 4,5 кредит ECTS);

21 годин – опрацювання окремих розділів програми, які не розглядаються під час аудиторних занять (див.п.6.1. Завдання для самостійної роботи.

6 годин - виконання індивідуальних навчально-дослідних завдань.

5.1. Завдання для самостійної роботи

№	Теми самостійної роботи	год.
1	2	3
1	Призначення вимірювальних перетворювачів	2
2	Призначення потенціометричних вимірювальних перетворювачів і їх характеристики.	1
3	Призначення та принцип дії терморезисторних вимірювальних перетворювачів.	1
4	Призначення та принцип дії фоторезисторних вимірювальних перетворювачів.	1
5	Призначення і принцип дії п'єзоелектричних вимірювальних перетворювачів.	1
6	Призначення і принцип дії частотних вимірювальних перетворювачів.	2
7	Призначення і типи вимірювальних перетворювачів частоти обертання.	1
8	Призначення і принцип дії фотоелектричних перетворювачів частоти обертання.	1
9	Призначення, структура і типи виконавчих елементів (ВЕ).	2
10	Конструкція, принцип дії і призначення пневматичних ВЕ.	2

№	Теми самостійної роботи	год.
11	Конструкція, принцип дії і призначення гідравлічних ВЕ.	2
12	Конструкція, принцип дії і призначення електричних ВЕ.	2
13	Основні типи, конструкція і принцип дії перетворювачів температури.	1
14	Основні типи, конструкція і принцип дії психрометричних, гігрометричних, пезосорбційних вимірювачів вологи.	1
15	Основні типи, конструкція і принцип дії ультразвукових датчиків.	1
	Р а з о м	21

7. ІНДИВІДУАЛЬНЕ НАВЧАЛЬНО-ДОСЛІДНЕ ЗАВДАННЯ

Індивідуальне навчально - дослідне завдання (ІНДЗ) може виконуватись кожним студентом за індивідуально отриманим завданням або самостійно обраною темою. Зміст ІНДЗ передбачає застосування отриманих теоретичних знань та навичок щодо конструкції, класифікації, принципів роботи та застосування основних видів сенсорів і виконавчих елементів. Обсяг ІНДЗ складає до 24 стор. Порядок виконання та оформлення ІНДЗ відповідно діючим вимогам до ІНДЗ студентів. Бажане представлення результатів ІНДЗ у вигляді публічного виступу.

Тематика ІНДЗ обирається індивідуально і може відповідати темам, винесеним на самостійне опрацювання.

8. МЕТОДИ КОНТРОЛЮ

Контроль знань студентів з навчальної дисципліни здійснюється в усній і письмовій формі. Для визначення рівня засвоєння студентами навчального матеріалу використовуються наступні методи оцінювання знань:

- поточне тестування після вивчення кожного змістового модуля;
- оцінка за індивідуальні навчально-дослідного завдання;

Контроль роботи студентів проводиться за такими видами робіт:

- наявність лекційного матеріалу – шляхом перегляду конспектів;
- робота на лабораторних заняттях – шляхом усного опитування і перевірки виконаних звітів і наявності висновків;
- підготовка рефератів, доповідей, наукових статей, тез для участі в конференціях;
- участь в конкурсах, олімпіадах.

Усі форми контролю включені до 100-бальної шкали оцінювання.

Оцінювання результатів поточної роботи (завдань, що виконуються на практичних заняттях, результати самостійної роботи студентів) проводиться за такими критеріями:

1. ІНДЗ, лабораторні роботи (у % від кількості балів, виділених на завдання із заокругленням до цілого числа):

0-39 % – завдання не виконано;

40-59% – завдання виконано частково та містить суттєві помилки методичного або розрахункового характеру;

60-79% – завдання виконано повністю, але містить суттєві помилки у розрахунках або в методиці;

80-90% – завдання виконано повністю і вчасно, проте містить окремі несуттєві недоліки (розмірності, висновки, оформлення тощо);

100% – завдання виконано правильно, вчасно і без зауважень.

9. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА ДИСЦИПЛІНИ

1. Виглеб Г. Датчики: Пер. с нем. М. : Мир, 1989. 196 с, ил. *Библиотека технической литературы* [Інтернет]. [цит. за 03, Вересень 2019]. Доступний у: <http://techlib.org/books/vigleb-datchiki/>

2. Войцицький А. П. Контрольно вимірювальні прилади з основами метрології : навч. посібник / А. П. Войцицький, І. В. Нездвезька. Житомир: ЖНАЕУ, 2015. 344 с. URL: http://ir.znau.edu.ua/bitstream/123456789/4524/1/KVP_2015.pdf.

3. Д. М. Нестерчук, С. О. Квітка, С. В. Галько. Методи і за-

соби вимірювань електричних та неелектричних величин: навчальний посібник [Інтернет]. Мелітополь: Виданвничополіграфчний центр «Люкс»; 2017 [цит. за 01, Вересень 2019]. 206 с. Доступний у: <http://elar.tsatu.edu.ua/bitstream/123456789/4386/1/Нестерчук%20Методи%20і%20засоби%2022.pdf>

4. Кованько В.В., Древецький ВВ, Христюк АО. Загально-технічні вимірювання і прилади [Інтернет]. Рівне, Україна: НУВГП; 2013 [цит. за 04, Січень 2020]. 189 с. Доступний у: <http://ep3.nuwm.edu.ua/2397/>

5. Про метрологію та метрологічну діяльність. Закон України від 05.06.2014 № 1314-VII [Інтернет]. Доступний у: <https://zakon.rada.gov.ua/go/1314-18>

6. Національний стандарт України «Системи керування вимірюванням» «Вимоги до процесів вимірювання та вимірювального обладнання» ДСТУ ISO 10012:2005 (ISO 10012:2003, IDT) [Інтернет]. Системи керування вимірюванням, ДСТУ ISO 10012:2005 Лип 1, 2007. Доступний у: https://lab.biz.ua/apps/dstu_iso_10012.pdf

7. Вимірювальний перетворювач. В: Вікіпедія [Інтернет]. 2018. Доступний у: https://uk.wikipedia.org/w/Вимірювальний_перетворювач

8. З.Ю. Готра, Л.И. Ильницький, Е.С. Полищук. Датчики: Справочник. Львів: Каменяр; 1995. 312 с.

9. МікроАмпер [Інтернет]. [цит. за 04, Січень 2020]. Доступний у: <https://uamper.com/>

10. Осадчук В.С., Осадчук О.В., Кравчук Н.С. Мікроелектронні сенсори температури з частотним виходом : Монографія. Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. 163с.

11. Тензорезистор. В: Вікіпедія [Інтернет]. 2019 Доступний у: <https://uk.wikipedia.org/w/Тензорезистор>

12. Тензорезистори - Продукція | Група компаній «ВЕ-ДА» [Інтернет]. [цит. за 04, Січень 2020]. Доступний у: <http://veda.com.ua/catalogue/tenzorezistory/>

13. В. А. Тесленко. Что следует знать о тензорезисторах. 2006;«ПиКАД: ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ КОНТРОЛЬ АВТОМАТИЗАЦИЯ ДИАГНОСТИКА»(1):48–52.

14. Zemic Europe: load cells, sensors and straingages for force measurement [Інтернет]. [цит. за 04, Січень 2020]. Доступний у: <https://www.zemiceurope.com/en>
15. Застосування ультразвукових сенсорів / Луцик Я., Буняк Л., Стадник Б. Львів : 1998, 232с.
16. Якість води. В: Вікіпедія [Інтернет]. 2019 [цит. за 04, Січень 2020]. Доступний у: <https://uk.wikipedia.org/w/> Якість води
17. Карта «Перевищення ГДК показників якості води на постах спостереження» [Інтернет]. [цит. за 04, Січень 2020]. Доступний у: <http://monitoring.davr.gov.ua/EcoWaterMon/GDKMap/Index>
18. Контроль минерализации воды [Інтернет]. [цит. за 17, Жовтень 2019]. Доступний у: <https://germedic.kiev.ua/stati/8-kontrol-mineralizatsii-vodyi.html>
19. Осадчук В.С., Осадчук О.В. Сенсори тиску і магнітного поля : Монографія. Вінниця : УНІВЕРСУМ, 2005. 207с.
20. Умные счетчики smart-МАС - Мониторинг ресурсов [Інтернет]. [цит. за 04, Січень 2020]. Доступний у: <https://store.smart-mac.com/>
21. Міні WEB-сервер Globus – ТОВ НВП ГРЕМПІС – Комплексні рішення обліку енергоносіїв [Інтернет]. [цит. за 04, Січень 2020]. Доступний у: <http://grempis.com.ua/globus/>
22. Ткачук ММ, Білецький АА, Громадченко ВЮ, Клімов СВ. Виробнича база будівництва [Інтернет]. Рівне, Україна: НУВГП; 2011 [цит. за 29, Грудень 2016]. 156 с. Доступний у: <http://ep3.nuwm.edu.ua/2046/>
23. 04-01-45 Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Вивчення конструкції та принципу роботи сенсорів газу на прикладі газоаналізатора ГЛ – 1122» з навчальної дисципліни «Сенсори і виконавчі елементи» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Інтернет речей» спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення» денної форми навчання [Електронне видання] / Клімов С. В. Рівне : НУВГП, 2019. 24 с.

10. ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

10.1. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

Тема: порівняльний аналіз основних статичних характеристик датчиків (на прикладі датчиків температури).

Мета: - ознайомитись з основними статичними характеристиками датчиків; ознайомитись з видами та основними властивостями датчиків температури; навчитись складати прості вимірювальні схеми.

Оснащення робочого місця: методичні вказівки з виконання практичної роботи, таблиці з технічними даними основних типів датчиків температури, калькулятор.

1. Теоретичні відомості

1.1. Датчики температури

Найважливішим різновидом датчиків є датчики температури, оскільки багато процесів, у тому числі й у повсякденному житті, регулюються температурою, наприклад

- регулювання опалення на підставі виміру температури теплоносія на вході і виході, а також температури в приміщенні і зовнішній температурі;

- регулювання температури охолоджуючої рідини в ДВЗ машини і т.п.

Крім того, шляхом виміру температури можна побічно визначати й інші параметри, наприклад потік, рівень і т.п.

При використанні такого роду датчиків температура вимірюється, як правило, па підставі залежності електричного опору від температури. У залежності від того, зростає чи знижується електроопір датчика при підвищенні температури, розрізняють напівпровідникові датчики відповідно з позитивним чи негативним температурним коефіцієнтом опору (ТКО). Металеві датчики температури з нікелю чи платини завжди мають позитивний ТКО. У випадку датчиків на основі термопар виникає ЕРС, пропорційна температурі.

1.2. Датчики температури з платини і нікелю

Для точного виміру температури в діапазоні від – 200 до +850 °С найчастіше застосовуються датчики температури з ні-

келю чи платини. Електричний опір металевих провідників змінюється відповідно до рівняння

$$R_1 = R_0[1+a(T_1-T_0)], \quad (1)$$

де R_0 – опір при 0°C (тобто при 273 K). R_1 – опір при температурі T_1 , a – температурний коефіцієнт, рівний для платини $3,9 \times 10^{-3}, \text{ K}^{-1}$ і для нікелю $5,39 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$.

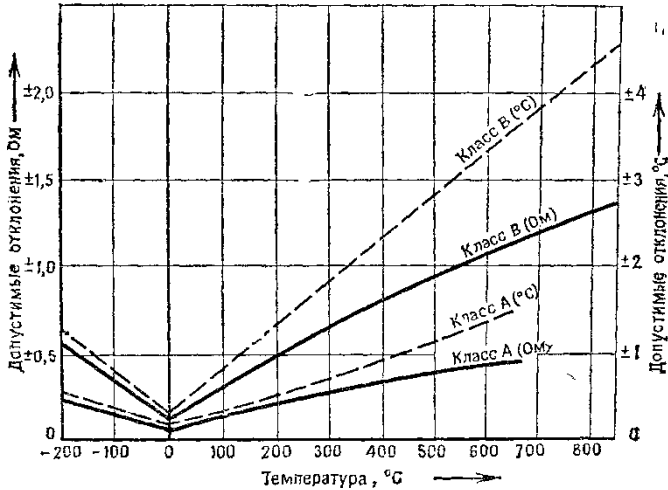


Рис. 1. Припустимі відхилення значень опору R температури для вимірювальних резисторів згідно вимогам стандарту DIN 43760.

Опір при 0°C в більшості випадків вибирається рівним 100 Ом . Такі вимірювальні резистори позначають Pt-100 чи Ni-100. Уживані також стандартно виготовлені опори в 500 Ом і 1 кОм . Припустимі відхилення від цих значень у перерахуванні на градуси по шкалі Цельсія, установлені стандартом DIN 43760, складають

- для класу А: $\pm(0,15+0,002 T)^\circ\text{C}$,
- для класу В: $\pm(0,3+0,005 T)^\circ\text{C}$.

де температура T виражена в градусах Цельсія. Ця залежність графічно представлена на рис. 1.

Таблиця 1

температура, °С	Припустимі відхилення			
	Клас А		Клас В	
	Ом	°С	Ом	°С
-200	±0,24	±0,53	±0,56	±1,3
-100	±0,14	±0,35	±0,32	±0,8
0	±0,06	±0,15	+0,12	±0,3
100	±0,13	4-0,35	±0,30	±0,8
200	+0,20	+0,55	±0,48	±1,3
300	±0,27	+0,75	+0,64	±1,8
400	±0,33	+0,95	±0,79	±2,3
500	±0,38	±1,15	±0,93	±2,8
600	±0,43	±1,35	±1,06	±3,3
650	±0,46	±1,45	±1,13	+3,6
700	—	—	±1,17	±3,8
800	—	—	±1,28	±4,3
850	—	—	±1,34	±4,55

У табл. 1 приведені припустимі відхилення для різних температур. Відхилення в градусах Цельсія справедливі для всіх номіналів опорів, а відхилення в тільки для опорів типу Pt-100. Для інших номіналів опорів значення відхилень в омах варто помножити на коефіцієнт $R_0 \times 10^{-2}$.

1.3. Вимірювальні схеми

Для виміру температури датчик потрібно підключити до вимірювальної схеми, на виході якої формується напруга, пропорційна температурі. Найпростішим різновидом такої схеми є вимірювальний міст (чи міст Уітстона)(рис. 2).

Якщо опір порівняння R_V установити таким чином, що вимірювальний прилад G буде показувати відсутність струму, то виявляється справедливим рівність $R_V = R_{Th}$, оскільки верхні рівнобіжні опори рівні між собою. Перевага такого способу виміру полягає в незалежності результатів від напруги живлення. Для технічних вимірів, коли потрібно мати безпосередні пока-

зання температури, опір R_V можна прийняти постійним, а показання вимірювального приладу прокалібрувати.

У випадку виміру напруги воно виходить рівним

$$U_M = U_{\mathcal{E}} \left[\frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_V}{R_V + R_{Th}} \right]. \quad (2)$$

При цьому потрібно використовувати високоомний вольтметр, тому що між точками 1 і 2 не повинний протікати струм.

Якщо ж застосовується низькоомний амперметр, то між точками 1 і 2 виникає струм короткого замикання, обумовлений виразом

$$I_K = I_S \left[\frac{R_1 R_{Th}}{R_1 + R_V} - \frac{R_2 R_V}{R_2 + R_{Th}} \right] \quad (3)$$

де I_S - струм живлення.

Практично застосовна схема показана на рис. 3. Вимірювальний струм I_S повинний бути дуже малий, щоб не викликати нагрівання резистора P_{Th} , що може привести до помилок виміру. Ця так називана похибка самонагрівання залежить від електричної потужності, яка підводиться ($P=I^2R$), величини тепла, що відводиться, і приладової постійної EK , називаної коефіцієнтом самонагрівання. Обумовлене самонагріванням підвищення температури ΔT можна розрахувати за формулою:

$$\Delta T = T_1 - T_2 = P / EK \quad (4)$$

де T_1 і T_2 - значення температури при наявності і відсутності вимірювального струму I_S відповідно, P — потужність, яка підводиться до вимірювального опору (у міліватах), EK - коефіцієнт самонагрівання (мВт/°C).

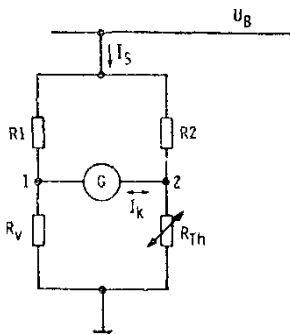


Рис. 2. Проста вимірювальна схема (міст Уитстона) для терморезисторів (наприклад, Pt-100)

Звичайно величину EK як характеристику датчика вказують для вимірів у воді і повітрі.

При вимірі температури повітря датчиком типу W60/24 застосована схема, показаний на рис. 3.

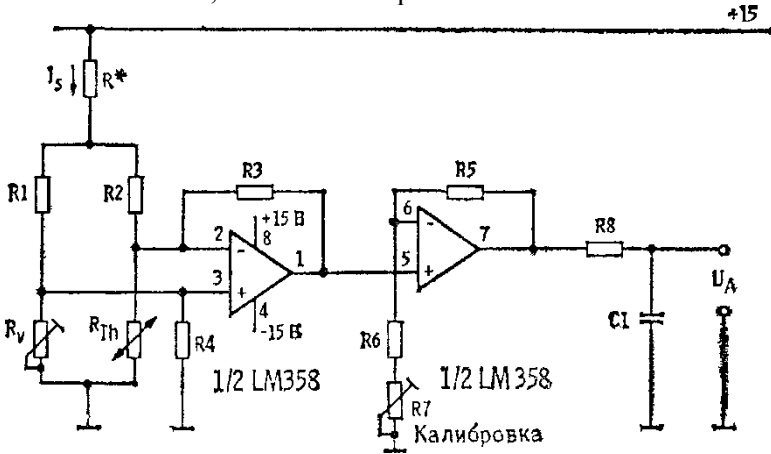


Рис. 3. Принципова схема приладу для виміру температури

При 0°C маємо $R1 = R2 = Rv = Rth = 100 \text{ Ом}$. Коефіцієнт ЕК для Pt-100 (W60/24) дорівнює $4 \text{ мВт}/^{\circ}\text{C}$.

При необхідності виміру з погрішністю не більш $0,25^{\circ}\text{C}$ через датчик повинний протікати вимірювальний струм, рівний лише

$$I = \sqrt{1 \text{ мВт}/100 \text{ Ом}} \approx 3 \text{ мА}.$$

Отже, струм I_s повинний бути рівним 6 мА , а відповідний йому додатковий опір

$$R^* = \frac{15 \text{ В}}{6 \text{ мА}} - 100 \text{ Ом} = 2,4 \text{ кОм}.$$

Сигнали вимірювального моста за допомогою місткового підсилювача струму перетворюються в напругу. У залежності від типу датчика $R3$ і $R4$ знаходяться в діапазоні від 1 до 50 кОм . Калібрування вимірювальної схеми здійснюється за допомогою потенціометра $R7$ у другому, що неінвертуючому каскаді підсилювача. Коефіцієнт підсилення цього каскаду визначається опорами $R5$, $R6$ і $R7$. При $R5 = R7 = 1 \text{ МОм}$ і $R6 = 100 \text{ КОм}$ вимірювальний сигнал можна підсилити ще приблизно в 10 разів. Резистор $R8$ і конденсатор $C1$ формують RC - ланцюжок для фі-

льтрації і демпфірування сигналу. Типовими параметрами є $R8 \approx 10 \text{ КОм}$ і $C1 \approx 4,7 \text{ мкФ}$.

2. Порядок виконання роботи

1. Визначити для лабораторного датчика функцію перетворення - залежність вихідної величини Y від вхідної X .

$$Y = F(X) \quad (5)$$

3. Визначити для вказаного датчика номінальну перетворення називається функцією перетворення (градууювальну характеристику) $F_{ном}(X)$.

4. Визначити коефіцієнт перетворення - відношення вихідної величини до вхідної

$$k(X) = Y / X = F(X) / X \quad (6)$$

5. Номінальний коефіцієнт перетворення визначається з номінальної функції перетворення як

$$k_{ном}(X) = \frac{F_{ном}(X)}{X}. \quad (7)$$

6. X та Y є величинами різної фізичної природи. Через номінальний коефіцієнт перетворення вихідна величина зведеться до входу ВП і одержується зведена функція перетворення.

$$x = \frac{Y}{k_{ном}(X)} = \frac{F(X)}{k_{ном}(X)} = f(X). \quad (8)$$

7. Номінальна зведена функція перетворення (лінійна, її графік проходить через початок координат).

$$f_{ном}(X) = \frac{F_{ном}(X)}{k_{ном}(X)} \quad (9)$$

8. Чутливість ВП - похідна від функції перетворення.

$$S = \frac{dY}{dX} = \varphi(X) \quad (10)$$

Якщо ж функція перетворення нелінійна, то чутливість є функцією вхідної величини і пов'язана з коефіцієнтом перетворення залежністю

$$S = dY/dX = \frac{d[K(X) \cdot X]}{dX} X + K(X)$$

9. Похибки. Виникнення похибок є наслідком незбігання дійсної функції перетворення $F(X)$ та номінальної функції перетворення $F_{ном}(X)$.

Абсолютна похибка, зведена до виходу, може бути визначена як (рис.4):

$$\Delta_{вих} = Y - Y_{ном} = F(X) - F_{ном}(X) = [K_D(X) - K_{ном}(X)]X$$

$$\Delta_{вих} = \frac{K_D(X) - K_{ном}(X)}{K_D(X)} Y \quad (11)$$

де $K_{ном}(X)$ та $K_D(X)$ – номінальний та дійсний коефіцієнти перетворення; $Y_{ном}$ – номінальне значення вихідної величини, встановлене за номінальною функцією перетворення $F_{ном}(X)$ для дійсного значення вхідної величини X .

Абсолютну похибку, зведену до входу, визначають як

$$\begin{aligned} \Delta_{BX} = x - X &= F^{-1}(Y) - X = \frac{Y}{k_{ном.y}(X)} - X = \\ &= \frac{k_D(X) - k_{ном.y}(X)}{k_D(X) \cdot k_{ном.y}(X)} \end{aligned} \quad (12)$$

де x – значення вхідної величини, що відповідає дійсному значенню вихідної величини Y , визначеному за номінальною функцією перетворення, $x=F^{-1}(Y)$ – обернена функція перетворення,

$K_{ном.у}(X)$ – номінальний коефіцієнт перетворення, який відповідає значенню Y за номінальною функцією перетворення.

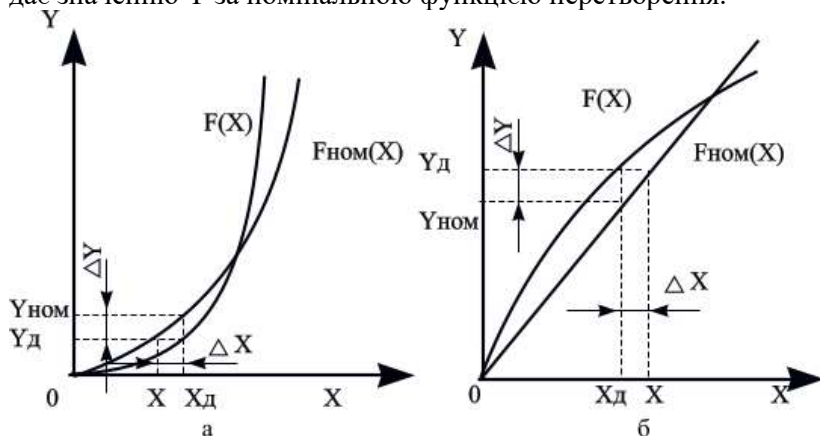


Рис.4. До визначення зведених до входу похибок ВП.

Із виразів для абсолютних значень похибок, зведених до входу та до виходу, може бути встановлений зв'язок між ними:

$$\Delta_{ВИХ} = \frac{k_D(X) - k_{НОМ}(X)}{k_D(X) \cdot k_{НОМ.У}(X)} k_{НОМ.У}(X) \cdot \Delta_{ВХ} \quad (13)$$

Відносні похибки ВП, зведені до входу та до виходу, визначаються як

$$\delta_{ВХ} = \Delta_{ВХ} / X, \quad \delta_{ВИХ} = \Delta_{ВИХ} / Y \quad (14)$$

Довідкові дані

Таблиця 2

Номінальні значення опору платинових вимірювальних резисторів на керамічній основі (типу Pt-100) у діапазоні температур від 0 до +400 °С.

°С	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	100	100,39	100,78	101,17	101,56	101,95	102,34	102,73	103,12	103,51
10	103,9	104,29	104,65	105,07	105,46	105,85	106,24	106,63	107,02	107,4
20	107,79	108,18	108,57	108,96	109,35	109,73	110,12	110,51	110,9	111,28
30	111,67	112,06	112,45	112,83	113,22	113,61	113,99	114,38	114,77	115,15
40	115,54	115,93	116,31	116,7	117,08	117,47	117,85	118,24	118,62	119,01
50	119,4	119,78	120,16	120,55	120,93	121,32	121,7	122,09	122,47	122,88
60	123,24	123,62	124,01	124,39	124,77	125,16	125,54	126,31	126,31	126,69
70	127,07	127,45	127,84	128,22	128,6	128,98	129,37	129,75	130,13	130,51
80	130,89	131,27	131,86	132,04	132,42	132,8	133,18	133,56	133,94	134,32
90	134,7	135,08	135,46	135,84	136,22	136,8	136,98	137,36	137,74	138,12
100	138,5	138,88	139,26	139,64	140,02	140,39	140,77	141,15	141,53	141,91
110	142,29	142,66	143,04	143,42	143,8	144,17	144,55	144,93	145,31	145,68
120	146,06	146,44	146,81	147,19	147,57	147,94	148,32	148,7	149,07	149,45
130	149,82	150,2	150,57	150,95	151,33	151,70	152,08	152,45	352,83	153,2
140	153,58	153,95	154,32	154,7	155,07	155,45	155,82	156,19	156,57	156,94
150	157,31	157,69	158,06	158,43	158,81	159,18	159,55	159,93	160,3	160,67
160	161,04	161,42	161,79	162,16	162,53	162,9	163,27	163,65	164,02	164,39
170	164,76	165,13	165,5	165,87	166,24	166,61	166,98	167,35	167,72	168,09
180	168,46	168,83	169,2	169,57	169,94	170,31	170,68	171,05	171,42	171,79
190	172,16	172,53	172,9	173,26	173,63	174	174,37	174,74	375,1	175,47
200	175,84	176,21	176,57	176,94	177,31	177,68	178,04	178,41	178,78	179,14
210	179,51	179,88	180,24	180,61	180,97	181,34	181,71	182,07	382,44	182,8
220	183,17	183,63	183,9	184,26	184,63	184,99	185,36	185,72	186,09	186,45
230	186,82	187,18	187,54	187,91	188,27	188,63	189	189,36	389,72	190,09
240	190,45	190,81	191,18	191,54	191,9	192,26	192,63	192,99	393,35	193,71
250	194,07	194,44	194,8	195,16	195,52	195,88	196,24	196,6	196,96	197,33
260	197,69	198,05	198,41	198,77	199,13	199,49	199,85	200,21	200,57	200,93
270	201,29	201,65	202,01	202,36	202,72	203,08	203,44	203,8	204,16	204,52
280	204,88	205,23	205,59	205,95	206,31	206,67	207,02	207,38	207,74	208,1
290	208,45	208,81	209,17	209,52	209,88	210,24	210,59	210,95	211,31	211,66

300	212,02	212,37	212,73	213,09	213,44	213,8	214,15	214,51	214,88	215,22
310	215,57	215,93	216,28	216,64	216,99	217,35	217,7	218,05	218,41	218,76
320	219,12	219,47	219,82	220,18	220,53	220,88	221,24	221,59	221,94	222,29
330	222,65	223	223,35	223,7	224,06	224,41	224,76	225,11	225,46	225,81
340	226,17	226,52	226,87	227,22	227,57	227,92	228,27	228,62	228,97	229,32
350	229,67	230,02	230,37	230,72	231,07	231,42	231,77	232,12	232,47	232,82
360	233,17	233,52	233,87	234,22	234,56	234,91	235,26	235,61	235,96	236,31
370	236,65	237	237,35	237,7	238,04	238,39	238,74	239,09	239,43	239,78
380	240,13	240,47	240,82	241,17	241,51	241,86	242,2	242,55	242,9	243,24
390	243,59	243,93	244,28	244,62	244,97	245,31	245,66	246	246,35	246,69
400	247,04									

Література до лабораторної роботи №2

1. Колчин А.В., Бобков Ю.К. Новые средства и методы диагностирования автотракторных двигателей. М. : Колос, 1982. 111 с.
2. Колчин А.В. Датчики средств диагностирования машин. М.; Машиностроение, 1984. 120 с.
3. Технические средства диагностирования : справочник / В. В. Ключев, П. П. Пархоменко, В. Е. Абрамчук и др.; Под общ. Ред. В. В. Ключева. М.: Машиностроение, 1989. 672 с.
4. Экологическая безопасность автомобилей : практикум / А. А. Пивоварчик, Е. В. Пивоварчик. Гродно : ГрГУ, 2016. 58 с. URL: <https://elib.grsu.by/katalog/550868pdf.pdf?d=true>

10.2. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

Тема: аналіз основних характеристик датчиків монооксиду вуглецю.

Мета: ознайомитись з основними характеристиками, видами та основними властивостями датчиків монооксиду вуглецю; навчитись складати прості вимірювальні схеми.

Оснащення робочого місця: методичні вказівки з виконання практичної роботи, таблиці з технічними даними основних типів датчиків монооксиду вуглецю, Carbon Monoxide Detector, калькулятор.

1. Теоретичні відомості

Монооксид вуглецю, також відомий як карбону (II) оксид, монооксид карбону, чадний газ — безбарвний, дуже отруйний газ без запаху. Утворюється внаслідок неповного згоряння пального в автомобільних двигунах та опалюваних приладах, які працюють на вугіллі або на інших видах природного палива. У воді майже не розчиняється і не вступає з нею в хімічну взаємодію. Належить до несолеотворних оксидів. Хімічна формула — CO (1).

Монооксид карбону утворюється при згорянні вугілля або сполук, що містять вуглець, при нестачі кисню (повітря), а також при взаємодії діоксиду вуглецю з розжареним вугіллям:



Через свою отруйність монооксид вуглецю є дуже небезпечним для організму людини. Ця небезпека збільшується тим, що він не має запаху і отруєння може настати непомітно. Навіть незначні його кількості, що потрапляють у повітря і вдихаються людиною, викликають запаморочення і нудоту, а вдихання повітря, в якому міститься 0,3 % CO за об'ємом, може швидко привести до смерті (1).

Отруйна дія CO обумовлюється тим, що він утворює з гемоглобіном крові порівняно стійку сполуку – карбоксигемоглобін, внаслідок чого кров втрачає здатність передавати кисень тканинам організму. Отруєння цим газом настає в результаті критичної нестачі кисню в організмі. Концентрація CO в повітрі 1 мг/м³ є небезпечною для життя людини.

При отруєнні монооксидом вуглецю рекомендується вдихання свіжого повітря протягом кількох годин, а також штучне зігрівання тіла. При цьому карбоксигемоглобін поступово руйнується і гемоглобін відновлює свою здатність сполучатися з киснем.

Найбільш поширеним джерелом отруйного чадного газу буває неефективна домашня установка димоходу або негерме-

тичні пристрої, які можуть його виділяти. При згорянні палива в нагрівачі (котлі, каміні) утворюється вуглекислий газ. Так відбувається, коли в топку подається достатня кількість багатого киснем повітря. Але коли кисню недостатньо, то замість вуглекислого газу утворюється монооксид вуглецю, він безбарвний і не має запаху.

2. Сфери застосування датчиків

Використання датчиків монооксиду вуглецю є обов'язковою вимогою для більшості промислових підприємств. Датчики чадного газу також необхідно встановлювати на підземних паркінгах, в тунелях і на навантажувальних площадках. Датчик такого типу необхідний у всіх місцях ймовірного скупчення CO.

Датчики чадного газу також встановлюються у всіх компаніях, що працюють з автомобілями або проводять випробування двигунів внутрішнього згорання. Газоаналіз є однією з основних вимог техніки безпеки на гірничодобувних підприємствах. Крім того, датчики CO повинні здійснювати контроль складу повітря в котельнях і на інших комунальних підприємствах де присутні процеси горіння (2).

Моніторинг чадного газу за допомогою таких приладів здійснюється безперервно. При досягненні критичних значень в датчиках спрацьовує сигналізатор, який сповістить всіх співробітників про небезпеку отруєння і необхідність покинути або провітрити робоче місце.

3. Принцип роботи та класифікація датчиків

Принцип роботи датчика є одним з найважливіших властивостей, так як від нього залежать спектр визначених речовин, час визначення, порогові концентрації, вартість, інші параметри.

Датчик витоку газу **складається** з таких елементів (3):

1. Первинний перетворювач – датчик, що сприймає і визначає величину концентрації газу в повітряному просторі.
2. Модуль вимірювання – пристрій, що приймає дані від первинного перетворювача, і проводить їх порівняння з допустимою величиною.

3. Виконавчий механізм – електромагнітний клапан, який перекриває подачу газу, звуковий та/або світловий індикатор.

4. Джерело живлення – джерело електричного струму у вигляді акумулятора, гальванічного елемента або мережевого блоку живлення.

5. Корпус пристрою.

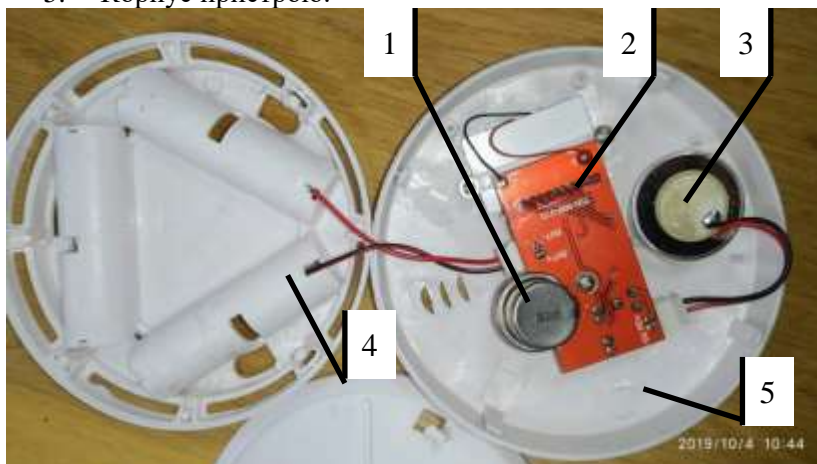


Рис. 1. Carbon Monoxide Detector

Функції датчиків витоку:

- Звукова і світлова сигналізація.
- Перекриття надходження газу за допомогою електромагнітної запірної арматури.
- Запуск витяжної системи вентиляції.
- Подача аварійного сигналу на диспетчерський або пожежний пулт.

Класифікація

Датчики витоку газу діляться на кілька основних видів за певними ознаками .

За типом виявленого газу:

- Природного газу (пропан, метан, бутан).
- Вуглекислого.
- Чадного.

- Інші (вуглеводневі гази LPG; пари спиртів; озон; аміак; бензол; сірководень).

Одного універсального датчика, який би міг виявити витoki різних видів газів, на сьогоднішній день не існує. Деякі гази скупчуються вгорі під стелею приміщення, так як вони легше повітря, а інші опускаються до підлоги, так як їх вага більше, ніж у повітря. Чадний газу здатний заповнити всі приміщення з однаковою щільністю.

За принципом роботи є датчики (4):

- 1) інфрачервоні (оптичні);
- 2) термохіміческие (каталітичні);
- 3) напівпровідникові;
- 4) фотоіонізаційні;
- 5) електрохімічні.

Робота **інфрачервоних датчиків** заснована за принципом не дисперсійного інфрачервоного методу (NDIR). Принцип роботи датчика, що визначає тип і концентрацію газу, заснований на зміні інтенсивності ІЧ випромінювання до і після поглинання в інфрачервоному детекторі з вибірковою чутливістю. Детектори використовують дві хвилі, одна з яких (активна) поглинається газом, а друга (опорна) - ні. Для активної довжини хвилі вимірюється рівень сигналу, який потім порівнюється з еталонним значенням. Ця інформація обробляється з використанням сучасних алгоритмів. Результатом такої обробки є лінійний вихідний сигнал концентрації газу (4).

Робота датчиків такого типу не залежить від стану навколишнього середовища. Вони стійкі до вібрацій, перешкод, силікатів. Так само, датчики мають високу точність, чутливість, надійністю і швидким відгуком. Датчик не схильний до «перенасичення», тобто при великих концентраціях не відбувається збій роботи датчика або зсув порогових значень. Обслуговування датчиків, при правильній установці, мінімальне – перевірка нульового значення без калібрування необхідна один раз в рік, що значно спрощує технічне обслуговування пристроїв з сенсорами такого типу, але не виключає зовсім. Недоліками використання

інфрачервоних датчиків є початкові витрати на їх покупку, ідентифікація тільки конкретних газів (метан і CO_2) (4).

Робота **термохімічних датчиків** заснована на вимірі реакції окислення газу. Застосовуються для знаходження концентрацій горючих газів в просторі. Вплив газу на каталітичний датчик призводить до горіння газу без утворення полум'я, внаслідок чого змінюється температура кулькового датчика, що тягне за собою зміну опору. Далі отримане значення опору порівнюється з еталонним значенням опору датчика, що не піддавалося впливу навколишнього середовища. Концентрація газу лінійно залежить від значення опору, тобто чим вище значення, тим вище концентрація. Концентрацію газу обчислюють шляхом відстеження змін опору.

Принцип роботи термохімічних датчиків має ряд переваг: широкий спектр ідентифікованих речовин (метан, зріджений нафтовий газ (LPG), пропан і інші горючі гази), робота датчиків не залежить від стану навколишнього середовища, невисока вартість. Так само, є ряд істотних недоліків: схильні до дії силікатів, можливо перенасичення детектуємих газом внаслідок впливу високих концентрацій, в результаті чого датчик може вийти з ладу, або можуть бути зміщені порогові значення. Через суттєві недоліки рекомендується проводити калібрування нуля і порогових значень датчика один раз в квартал, що збільшує вартість обслуговування (4).

Напівпровідникові датчики призначені для визначення сірководневих сполук. Конструктивна особливість датчиків в тому, що на кремнієву підкладку наносяться шари нагрівальної плівки. Так само, як і у каталітичних датчиків, їх дія заснована на властивостях поглинання газу поверхнею нагрітого оксиду. В робочому стані, коли присутній інший газ, що викликає окислювально-відновлювальну реакцію, концентрація негативних іонів кисню зменшується. Це призводить до зменшення порогової напруги, і, як наслідок, до зменшення опору датчика. Чутливий матеріал датчика має низьку провідність в присутності чистого повітря. При появі газу, що детектується, провідність датчика зростає з ростом концентрації цього газу. Ці датчики мають широкий спектр детектуємих речовин: горючий газ, приро-

дний газ, LPG, коксовий газ, водень, пари спирту, озон, оксид вуглецю, аміак, бензол, сірководень, летючі органічні речовини (VOC). Напівпровідникові датчики прості, надійні і мають високий ступінь чутливості. Широко використовуються в детекторах побутового газу. У промисловості не застосовуються, тому що не досить точні при визначенні окремих газів, чутливі до атмосферної температури і вологості, повільно проходить процес очищення після ідентифікації газу. Рекомендується проводити перевірку датчиків і калібрування порогових значень один раз в квартал.

Фотоіонізаційні сенсори (PhotoIonisation Detection (PID)) здійснюють детектування газів під дією ультрафіолетового випромінювання. Газ проходить через сенсори датчика і молекули органічних і неорганічних речовин іонізується. Робота фотоіонізаційних датчиків (ФІД) заснована на вимірюванні струму, викликаного іонізацією молекул газів і парів фотонами, що випромінюються джерелом вакуумного ультрафіолетового (УФ) випромінювання – УФ-лампи (UV lamp).

УФ-випромінювання через вікно лампи виходить в іонізаційну камеру, де встановлені два електроди, один з яких з'єднаний з джерелом живлення, а інший з електрометром. У іонізаційну камеру подається проба (test gas 1). Під дією випромінювання компоненти з енергією іонізації, меншою енергії фотонів, що випускаються УФ-лампкою (на рис. 2 показані стрілками), іонізуються. Фотоіонізація відбувається в камері, коли фотон адсорбується молекулою, утворюючи два електрично заряджених іона, один позитивно заряджений, X^+ , і один негативно заряджений, Y^- (2a). Електричне поле, що утворюється між електродами катода та анода, притягує іони (2b). Тому в іонізаційній камері протікає струм, величина якого пропорційна концентрації домішок. При цьому компоненти чистого повітря, що мають більш високі потенціали іонізації, не іонізуються.

В датчиках Alphasense типу PID-A присутній третій електрод, огорожуючий, для забезпечення того, що посилений струм не значно реагував на інші джерела струму, такі як конденсація води на стінках камери.

Фотоіонізаційні датчики можуть детектувати невелику кількість газів: метан, н-алкани C1-C5 і діоксид вуглецю (4).

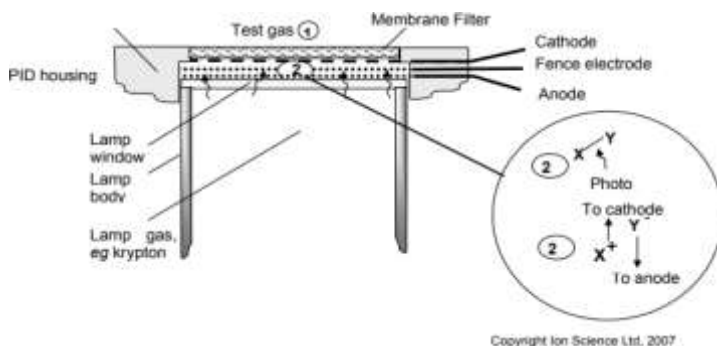


Рис. 2. Принципова схема роботи фотоіонізаційного сенсора (PhotoIonisation Detection – PID)

Електрохімічні датчики (Electrochemical Gas Sensors) дозволяють визначати концентрацію газів у суміші за значенням електричної провідності розчину, який поглинув цей газ. Датчики даного типу застосовуються для виявлення токсичного газу (водень, фосфін, аміак, чадний газ, оксид сірки, оксид азоту, хлор, сірководень і ін.) в виробничих процесах. Визначення концентрації газу відбувається шляхом вимірювання струму за електрохімічним принципом. На робочому електроді всередині електричної комірки проходить процес електрохімічного окислення (рис. 3). Струм, який виробляється при реакції детектуемого газу, прямо пропорційний концентрації газу (рис. 4). Датчики відрізняються високою ефективністю, надійністю, чутливістю і невисокою ціною. Також датчики не реагують на зміни вологості, не вимагають нагрівання, за рахунок цього мають мале споживання і можливість батарейного живлення (4).

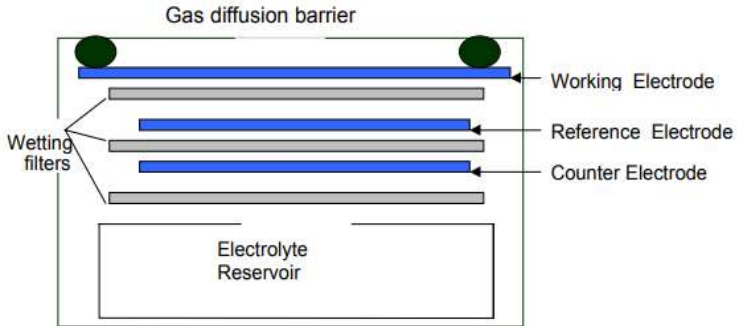


Рис. 3. Принципова схема електрохімічного датчика токсичного газу. Три металеві смуги з'єднують кожен електрод із трьома штирями поза корпусом датчика (5)

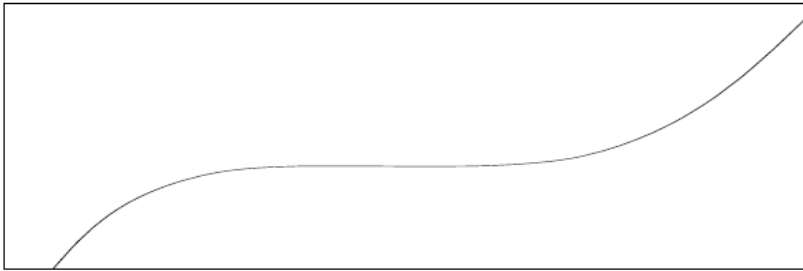


Рис. 4. Принципове зображення типової залежності напруги струму. Струм робочого електрода змінюється, коли потенціал змінюється, створюючи криву напруги струму (5)

Висновки: Всі датчики з різними принципами роботи мають свої позитивні і негативні сторони. Залежно від сфери застосування вибирають той чи інший тип датчика.

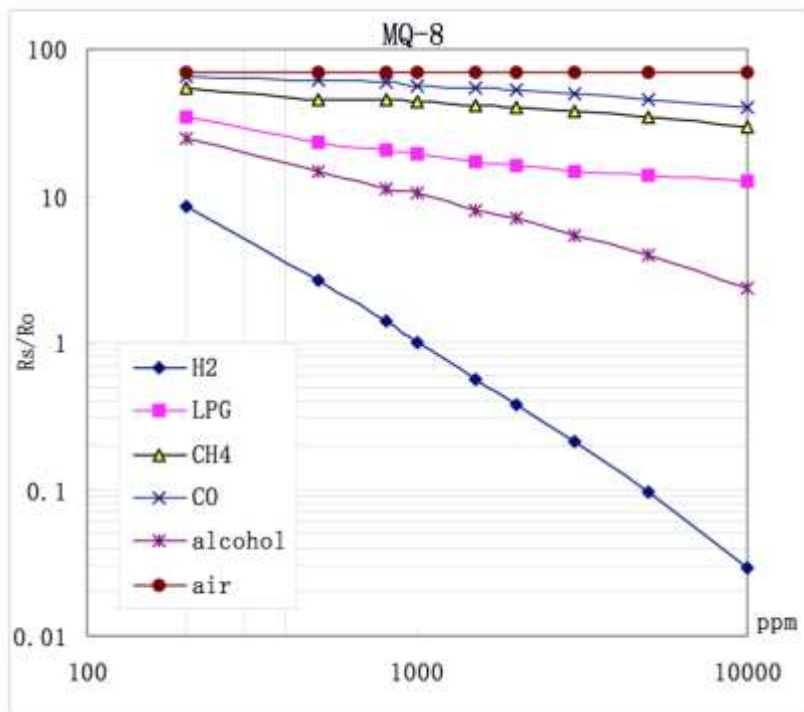


Рис. 5. Графік чутливості датчиків MQ-8 для різних газів (6)

4. Схеми включення

У триелектродному датчику кожен електрод має специфічне використання:

- **Робочий електрод** реагує на цільовий газ, або окислюючи, або зменшуючи газ, створюючи потік струму, пропорційний концентрації газу. Цей струм повинен подаватися на датчик через лічильник електрода.

- **Електрон відліку** використовується потенціостатичним контуром для підтримки фіксованого потенціалу на робочому електроді. Потенціал робочого електрода повинен підтримуватися з таким же потенціалом, як потенціал опорного електрода для неупереджених датчиків, або зі зміщенням датчиків, які потребують зміщення.

• **Зустрічний електрод** завершує ланцюг з робочим електродом, зменшуючи деякі хімічні види (як правило, кисень), якщо робочий електрод окислює, або окислює, якщо робочий електрод зменшує цільовий газ. Потенціал зустрічного електрода дозволяється плавати, іноді змінюючись у міру збільшення концентрації газу. Потенціал на електроді лічильника не важливий, доки ланцюг потенціостату може забезпечити достатню напругу і струм для підтримки робочого електрода на тому ж потенціалі, що і електрод відліку

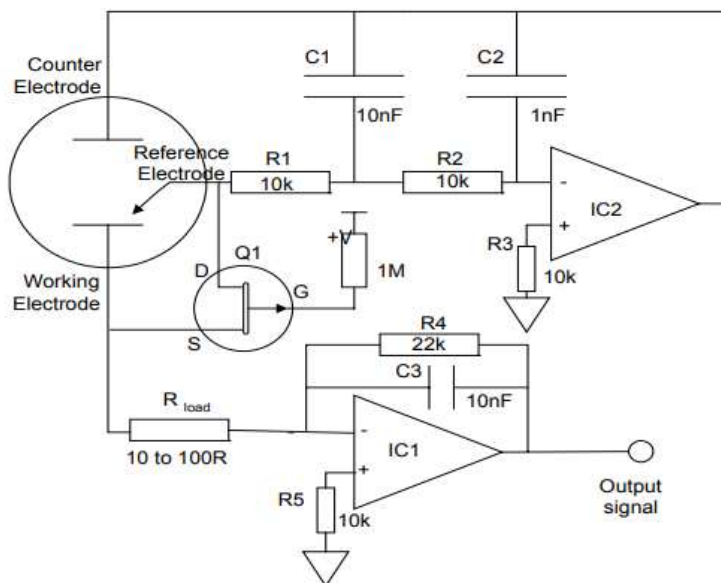


Рис. 6. Схема потенціостату для нульових датчиків токсичних газів. ІС вимагають +/-, а не однократне живлення (5)

5. Режим надсилання команд в OPC-N3

У відповідь на будь-який початковий байт команди OPC-N3 повинен повернути байт значення 0x31, вказуючи на те, що він зайнятий.

Після отримання командного байта OPC-N3 припинить свою діяльність та підготує дані для відповіді, якщо це буде потрібно.

Протягом цього періоду, поки дані відповіді не будуть готові, якщо подальші байти надсилаються до OPC-N3, повернутий байт продовжуватиме становити 0x31 (зайнятий). Коли OPC-N3 підготував свої дані відповіді, він завантажить буфер SPI зі значенням байта 0xF3, щоб вказати, що він готовий до передачі даних. Значення байту команди повинно залишатися узгодженим з вихідним значенням байта команди, відправленим для перевірки команди OPC-N3. Якщо його немає, OPC-N3 завантажить буфер SPI значенням 0x31 (зайнятий) і повернеться до свого нормального режиму роботи. THE SAMPLING TRIGGER WILL NOT BE ARMED IF THIS OCCURS. Переключення тригера може бути досягнуто за допомогою успішної гістограми чи запиту даних РМ.

Для зв'язку з OPC-N3, майстер SPI повинен запитувати OPC-N3 зі значенням байту команди, перевіряючи повернений байт на значення 0x31 (зайнято) або 0xF3 (готовий). Перший повернутий байт повинен бути завжди 0x31 (зайнятий). Наступні повернені байти будуть або 0x31 (зайнятий), або 0xF3 (готовий), залежно від стану OPC-N3. Якщо майстер SPI отримав інше значення байту на цьому етапі, сталася помилка, і зв'язок повинен припинитися для $> 2s$, щоб дозволити OPC-N3, щоб зрозуміти помилку та очистити її буферні дані. Майстер SPI також повинен очистити будь-які забудовані дані.

Загалом, пропонується, щоб інтервал опитування байтів команди дорівнював 10 мс, а затримка між передачею байтів після отримання значення байта 0xF3 (готова) становить 10 мс.

Особливості роботи схем з датчиками вмісту газів в повітрі можна також ознайомитись на сайті <https://playground.arduino.cc/Main/MQGasSensors/>.

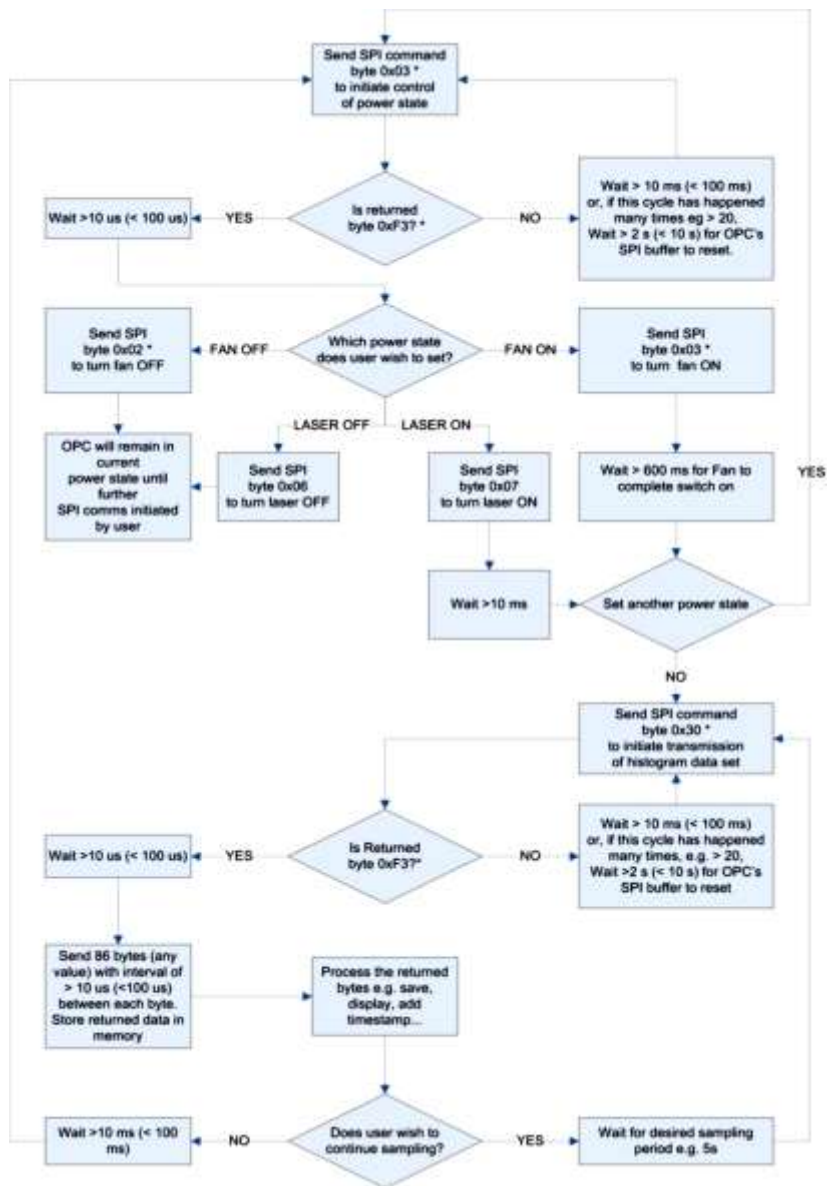


Рис. 7. Блок-схема, що зображує типову послідовність команд і затримок для запуску сеансу вибірки гістограми OPC-N3 (5)

6. Література до лабораторної роботи №3

1. Монооксид вуглецю. В: Вікіпедія [Інтернет]. 2019 [цит. за 03, Жовтень 2019]. Доступний у: https://uk.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%9C%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%BE%D0%BA%D1%81%D0%B8%D0%B4_%D0%B2%D1%83%D0%B3%D0%BB%D0%B5%D1%86%D1%8E&oldid=24299912
2. Газоанализатор СО, датчик содержания и концентрации угарного газа купить на Полтраф [Інтернет]. [цит. за 03, Жовтень 2019]. Доступний у: https://poltraf.ru/gazoanaliz/datchiki_co/
3. Датчик утечки газа. Виды и работа. Установка и устройство. Применение [Інтернет]. Электросам.Ру. 2017 [цит. за 03, Жовтень 2019]. Доступний у: <https://electrosam.ru/glavnaja/slabotochnye-seti/oborudovanie/datchik-utechki-gaza/>
4. Афанасьев ДС, Бардакова ЕА, Быстряков ДС. Аналитический обзор датчиков летучих веществ для интернета вещей. Информационные Технологии И Телекоммуникации [Інтернет]. 2016 [цит. за 03, Жовтень 2019];4(4):1–12. Доступний у: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29041134>
5. Air | Alphasense [Інтернет]. Alphasense. [цит. за 04, Жовтень 2019]. Доступний у: <http://www.alphasense.com/index.php/air/>
6. Ломаем датчик утечки газа [Інтернет]. [цит. за 03, Жовтень 2019]. Доступний у: <https://habr.com/ru/post/256215/>