

Бутенко П.В., Мілих М.М.

Дніпровський національний університет ім. Олесь Гончара, Україна

ПРОВЕДЕННЯ ВИМІРЮВАНЬ КОНЦЕНТРАЦІЇ ГАЗІВ ДАТЧИКАМИ WINSEN

Системи клімат-контролю з інтегрованими пристроями безпеки дозволяють контролювати та керувати роботою різних кліматичних інженерних систем: кондиціонування, вентиляції, опалення, оповіщення та багатьох інших систем. Використовуються різні датчики: температури, вологості, концентрації вуглекислого газу, загрозованих газів – чадного газу, природного, зрідженого газу. Найбільш поширеними видами датчиків концентрації газів є датчики MQ та MG Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd (КНР).

Датчики MQ [1] відносяться до напівпровідникових приладів. Принцип роботи датчику заснований на зміні опору тонкоплівкового шару діоксиду олова SnO_2 при контакті з молекулами газу, що визначається. При збільшенні концентрації газу зменшується опір тонкоплівкового шару, відповідно підвищується провідність датчику, що може бути виміряно за збільшенням напруги на резисторі, який включено послідовно з датчиком. Збільшення провідності датчику пов'язано також зі збільшенням температури газу та збільшенням його вологості.

Чутливий елемент датчика складається з керамічної трубки з покриттям Al_2O_3 і нанесеного на неї чутливого шару діоксиду олова. Всередині трубки проходить нагрівальний елемент, який нагріває чутливий шар до температури, при якій він починає реагувати на визначений газ. Чутливість до різних газів досягається варіюванням складу домішок в чутливому шарі. Напруга живлення нагрівача – 5 В, опір нагрівача – R_H , струм – до 150 мА.

Конструкція датчику наведена на рис. 1.

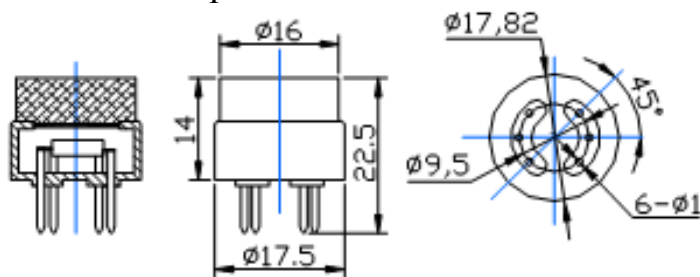


Рис.1. Конструкція датчику

Схема включення датчику приведена на рис.2.

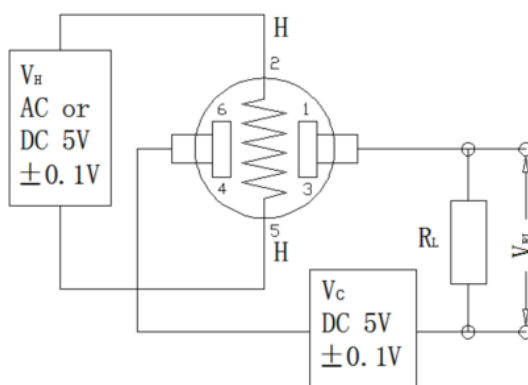


Рис. 2. Схема включення датчиків MQ

На чутливий елемент датчика і послідовно підключений до нього резистор навантаження R_L подається напруга живлення датчика 5 В. Напруга V_{RL} на резисторі навантаження R_L залежить від опору датчика R_S :

$$V_{RL} = V_C R_L / (R_S + R_L), \text{ тоді } R_S = R_L (V_C / V_{RL} - 1). \quad (1)$$

Діапазон вимірювань об'ємної концентрації C_{ppm} газів в повітрі залежить від виду газу та типу датчика і може складати від 10 ppm до 10000 ppm. Кожний датчик типу MQ реагує на декілька газів, але для окремих газів він має більшу чутливість, а саме більшу провідність опору R_S , що визначається особливостями технології створення чутливого шару датчика. Тому датчики розділяються за видами газів для яких забезпечується максимальна чутливість.

Датчики, що призначені для вимірювання концентрації CO_2 MG-811 та MG-812 [2] є хімічними датчиками, сенсор яких побудований на базі комірки твердого електроліту, яка забезпечує більш високу чутливість та селективність.

На виході чутливого елемента виникає ЕДС що залежить від величини концентрації газу, яка змінюється в межах 350 мВ – 250 мВ.

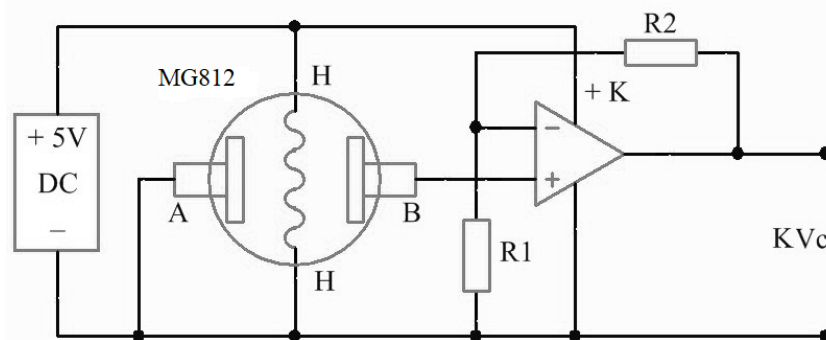


Рис. 3. Схема включення датчика MG-812

Датчик MG-811 живиться від напруги 6 В, що обмежує його застосування.

Таблиця 1

Тип датчика	Вид газу	Концентрація C _{ppm}	R _H , Ом	R _L , кОм
MQ-2	Дим	300 – 10000	29+3	4,7 кОм
MQ-4	Метан CH ₄ (LNG)	300 – 10000	26+3	4,7 кОм
MQ-6	Пропан C ₃ H ₈ (LPG)	300 – 10000	26+3	4,7 кОм
MQ-7В	Чадний газ CO	10 – 500	29+3	4,7 кОм
MQ-8	Водень H ₂	100 – 1000	29+3	4,7 кОм
MQ136	Сірководень H ₂ S	1 – 200	29+3	4,7 кОм
MQ137	Аміак NH ₃	5 – 500	29+3	4,7 кОм
MQ138	Алкоголь C ₂ H ₅ OH	5 – 500	29+3	4,7 кОм
MQ-812	Вуглекислий газ CO ₂	350 – 10000	60+5	

Датчик MQ-5 має ідентичні характеристики щодо MQ-6, а в датчику MQ-9В об'єднані характеристики датчиків MQ-4 та MQ-7В.

Для кожного резистивного датчика існує два сімейства характеристик, одна з них залежність співвідношення R_S/R_0 від концентрації C_{ppm} газів, до яких є чутливим датчик при стандартних умовах: температура повітря 20°C, об'ємна концентрація кисню O₂ дорівнює 21 %, вологість повітря в залежності від типу датчика вибрана 65 % RH, 55 % RH або 33 % RH. Значення R_0 дорівнює виміряному значенню R_S при стандартних умовах повітря та нульовою концентрацією газів до яких датчик є чутливим.

Друге сімейство характеристик показує залежність R_S/R_{S0} для стандартних умов щодо складу кисню, для різних значень температури t°C та

вологості навколишнього повітря RH%, та для значення R_{S0} , при відповідній концентрації газу, на вид якого розраховано датчик, та стандартних умов щодо складу кисню, температури та вологості. На рис. 4 наведені характеристики чутливості, а на рис. 5 залежності R_S/R_{S0} від температури та вологості для датчика MQ-4, який використовується для визначення концентрації метану CH_4 (побутовий газ).

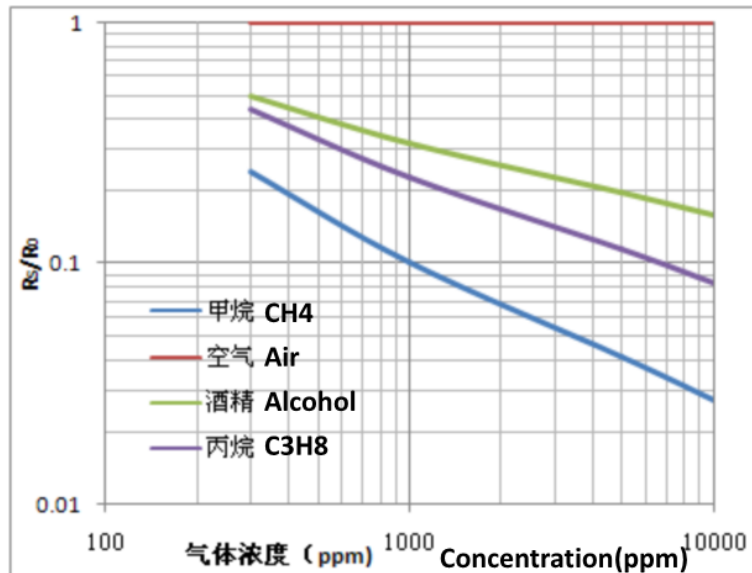


Рис.4. Залежність R_S/R_0 від концентрації C_{ppm}

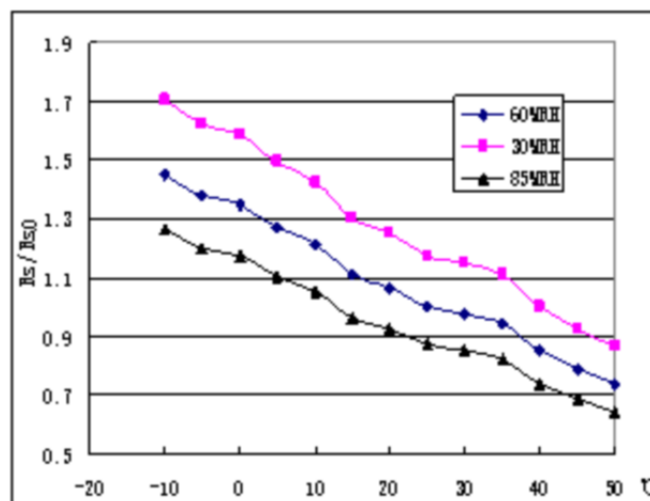


Рис. 5. Залежність R_S/R_{S0} від температури та вологості

На рис. 5 величина R_{S0} виміряна при стандартних умовах складу кисню 21 %, температурі 20°C, вологості 55 %RH, концентрації CH_4 $C=5000$ ppm (верхній графік 30 %RH, нижній графік 85 %RH).

Час відгуку датчика на значення концентрації газу після включення нагрівача складає 30 секунд. Перед використанням кожний датчик проходить

термотренування: прогрів при нарузі на нагрівачі 5 В протягом 48 годин. Таким чином для вимірювання концентрації газу необхідно забезпечити визначення температури та вологості оточуючого повітря, проводити вимірювання напруги на резисторі навантаження після включень нагрівача та після затримки на час відгуку датчика.

Послідовність дій, щодо проведення вимірювань є наступною:

- калібрування датчика проведенням вимірювання значення $R_0=R_S$ в умовах, що вказані раніше;

- вимірювання температури та вологості оточуючого повітря та розрахунок коефіцієнту γ для приведення R_S/R_{S0} до значення R_S/R_0 в стандартних умовах (рис. 4, рис. 5);

- вимірювання R_S/R_{S0} та приведення цього параметра до стандартних умов $R_S/R_0=(R_S/R_{S0})/\gamma$;

- проведення розрахунків концентрації газу C_{ppm} за допомогою апроксимації графіків залежності R_S/R_0 від значення C_{ppm} .

Калібрування здійснюється для кожного датчика, який встановлюється в модулі. Після вимірювання температури, вологості розрахунок коефіцієнта приведення γ здійснюється апроксимацією графіків на рис. 5, які виробник навів у документаціях однаковими для всіх датчиків MQ. При температурі 20°C та вологості 55 %RH, що відповідає стандартним умовам, значення R_S/R_{S0} на графіку дорівнює одиниці, таким чином для іншої температури та вологості значення R_S/R_{S0} приймаються за коефіцієнт приведення γ .

Для розрахунку коефіцієнта приведення γ графік на рис. 5 поділяється на 5 частин $i=1,2\dots5$, залежність $R_S/R_{S0}(i)$ при температурі $t(i)^\circ\text{C}$ апроксимується лінійною функцією від величини вологості, ця функція визначається по значенням $R_S/R_{S0}(i)$ при 30 %HR та 85 %HR

$$R_S/R_{S0}(i) = K(i)HR/10+A(i) \quad (2)$$

В останньому рядку таблиці 2 наведені апроксимовані значення $R_s/R_{s0}(i)$ для вологості 60 %RH, які показують збіг з графіком на рис. 5.

Таблиця 2

i	1	2	3	4	5	6
t(i)°C	- 10	0	15	25	35	50
K(i)	- 0,0836	- 0,0745	- 0,0636	- 0,0545	- 0,0509	
A(i)	1,95	1,804	1,491	1,333	1,263	1.01
$R_s/R_{s0}(i)$ 60%RH	1,46	1,35	1,11	1,01	0.95	0,74

Після вимірювання температури $t^{\circ}\text{C}$ визначається та частина графіку, що підлягає апроксимації $t(i) \leq t \leq t(i + 1)$, розраховуються значення $R_s/R_{s0}(i)$ та $R_s/R_{s0}(i+1)$ для вимірної величини вологості HR та з використанням лінійної апроксимації графіку для цієї частини визначається коефіцієнт приведення γ :

$$\gamma = R_s/R_{s0} = (R_s/R_{s0}(i+1) - R_s/R_{s0}(i)) (t - t(i)) / (t(i+1) - t(i)) + R_s/R_{s0}(i). \quad (3)$$

Графіки залежності R_s/R_0 від концентрації газу C_{ppm} існують у логарифмічному масштабі за обома змінними. Для графіків датчиків MQ-2, MQ-4, MQ-6, MQ-8, а саме вертикальної вісі Y для R_s/R_0 та горизонтальної вісі X для C_{ppm} можна записати:

$$Y = 77,5 (\log_{10}(R_s/R_0) + 2), \quad X = 97,5 (\log_{10}(C_{ppm}) - 2) \quad (4)$$

Тоді лінійні координати X, Y (0,0) відповідають $R_s/R_0=0,01$, $C_{ppm}=100$, та з аналізу графіків можна кожний представити двома лінійними функціями (табл. 3):

Таблиця 3

Датчик	$R_s/R_0 < 0,1$	$R_s/R_0 \geq 0,1$
MQ-2	$X = -1,89Y + 256$	$X = -1,79Y + 247,8$
MQ-4	$X = -1,758Y + 233,8$	$X = -2,19Y + 267,7$
MQ-6	$X = -1,925Y + 248,6$	$X = -1,667Y + 228,4$
MQ-8	$X = -2,79Y + 298,8$	$X = -3,63Y + 364$

Концентрація газу визначається: $C_{ppm} = \text{ant log}_{10} (X/97,5 + 2)$. (5)

Аналогічно для датчиків MQ136, MQ137, MQ138 вертикальна вісь Y для R_S/R_0 відповідає формулі (4), для датчиків MQ136, MQ137 горизонтальна вісь а), а для датчика MQ138 горизонтальна вісь б) відповідають формулам (6):

$$\text{а) } X = 87,5 \log_{10}(C_{\text{ppm}}), \quad \text{б) } X = 118(\log_{10}(C_{\text{ppm}}) - 1) \quad (6).$$

Кожний графік може бути представлений однією лінійною функцією та формулою для розрахунку C_{ppm} :

Таблиця 4

Датчик	X	C_{ppm}
MQ136	$X = -4,193Y + 572,3$	$C_{\text{ppm}} = \text{ant log}_{10}(X/87)$
MQ137	$X = -4,155Y + 569,2$	$C_{\text{ppm}} = \text{ant log}_{10}(X/87)$
MQ138	$X = -3,654Y + 460,4$	$C_{\text{ppm}} = \text{ant log}_{10}(X/118 + 1)$

Для датчика MQ-7В перетворення координат із наведених виробником графіків можна записати:

$$Y = 73,5 (\log_{10}(R_S/R_0) + 2), \quad X = 62,2(\log_{10}(C_{\text{ppm}}) - 1). \quad (7)$$

Графік залежності R_S/R_0 від C_{ppm} чадного газу CO апроксимується двома лінійними функціями:

$$X = -1,526Y + 153,4, R_S/R_0 > 0,03; \quad X = -1,95Y + 168,8, R_S/R_0 \leq 0,03. \quad (8)$$

Концентрація газу визначається:

$$C_{\text{ppm}} = \text{ant log}_{10}(X/62,2 + 1). \quad (9)$$

Для датчиків MG-812 надається графік залежності напруги V мВ джерела ЕДС комірки чутливого елемента датчика (вертикальна вісь Y $V_C = 250$ мВ - 330 мВ) від концентрації вуглекислого газу C_{ppm} в логарифмічному масштабі.

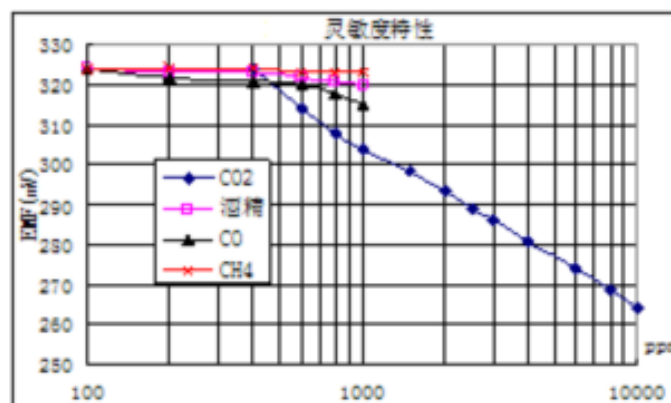


Рис. 6. Залежність напруги V_C на виході датчика від концентрації C_{ppm} CO₂

Вимірювання V_C здійснюється в стандартних умовах: температура 28°C вологість $65\%RH$. Залежність від температури та вологості для MG-812 надається виробником на графіках на рис. 7 та рис. 8.

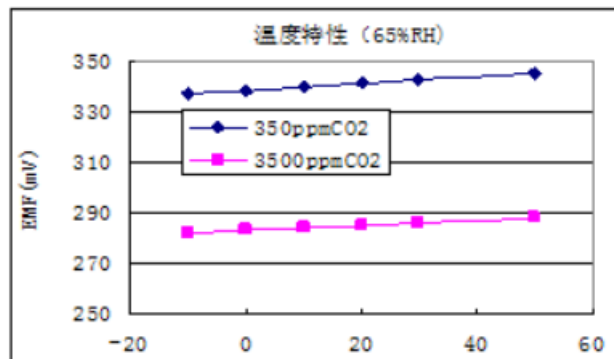


Рис. 7. Залежність $V_C(t, RH\%)$ від температури $t^\circ\text{C}$

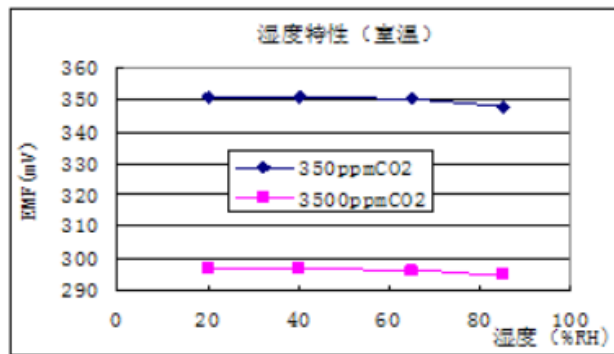


Рис. 8. Залежність $V_C(t, RH\%)$ від вологості $RH\%$

Аналіз графіків показує, що приведення вимірних значень $V_C(t, RH\%)$ до значення V_C графіка на рис. 6 може бути здійснена:

- якщо $20\%RH \leq RH\% < 55\%RH$; (10)

$$V_C = V_C(t, RH\%) - (t^\circ\text{C} - 28^\circ\text{C}) 0,1\text{mV}/^\circ\text{C} - 1\text{mV}, t^\circ\text{C} \geq 28^\circ\text{C};$$

$$V_C = V_C(t, RH\%) + (28^\circ\text{C} - t^\circ\text{C}) 0,1\text{mV}/^\circ\text{C} - 1\text{mV}, t^\circ\text{C} < 28^\circ\text{C};$$

- якщо $55\%RH \leq RH\% < 70\%RH$; (11)

$$V_C = V_C(t, RH\%) - (t^\circ\text{C} - 28^\circ\text{C}) 0,1\text{mV}/^\circ\text{C}, t^\circ\text{C} \geq 28^\circ\text{C};$$

$$V_C = V_C(t, RH\%) + (28^\circ\text{C} - t^\circ\text{C}) 0,1\text{mV}/^\circ\text{C}, t^\circ\text{C} < 28^\circ\text{C};$$

- якщо $70\%RH \leq RH\% \leq 85\%RH$; (12)

$$V_C = V_C(t, RH\%) - (t^\circ\text{C} - 28^\circ\text{C}) 0,1\text{mV}/^\circ\text{C} + (RH\% - 70\%)0,067\text{mV}/\%, t^\circ\text{C} \geq 28^\circ\text{C};$$

$$V_C = V_C(t, RH\%) + (28^\circ\text{C} - t^\circ\text{C}) 0,1\text{mV}/^\circ\text{C} + (RH\% - 70\%)0,067\text{mV}/\%, t^\circ\text{C} < 28^\circ\text{C};$$

Після приведення до V_C в стандартних умовах можна провести розрахунки щодо апроксимації графіка на рис. 7. В лінійному масштабі вісі Y та X мають бути:

$$Y = 2(V_C - 250), X = 106,5 (\log_{10} C_{ppm} - 2). \quad (13)$$

В графіку можна виділити три частини, кожна з яких може бути апроксимована лінійною функцією для відповідного діапазону V_C , ці три функції:

$$X = -0,97Y + 207,65; V_C \geq 307,5 \text{ мВ}$$

$$X = -1,578Y + 277,56; 307,5 \text{ мВ} > V_C \geq 298,5 \text{ мВ}$$

$$X = -1,283Y + 248,91; V_C < 298,5 \text{ мВ} \quad (14)$$

Концентрація вуглекислого газу CO_2 визначається:

$$C_{ppm} = \text{ant log}_{10} (X / 106,5 + 2). \quad (15)$$

В роботі виведені формули які забезпечують апроксимацію графіків, щодо залежності параметру чутливого елемента датчика від концентрації газів для усіх зазначених типів датчиків з урахуванням впливу температури та показників вологості. Це надає можливість розраховувати концентрацію газів в різноманітних умовах.

Результати роботи будуть використані при побудові системи безпеки і клімат-контролю для промислових та житлових приміщень, у транспорті, лікарняних закладах, тощо.

Література:

1. MQ-2, MQ-4, MQ-6, MQ-7B, MQ-8, MQ136, MQ137, MQ138, Manual, www.winsen-sensor.com.
2. MG-811, MG-812, Manual, www.winsen-sensor.com.