

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИСТРОЮ З ЧАСТОТНИМ ВИХОДОМ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація. Розроблено пристрій для вимірювання вологості з вологочутливим резистивним елементом HR202. На основі математичного моделювання електричних характеристик розробки отримано аналітичні вирази для функції перетворення та рівняння чутливості. Експериментально встановлено, що збільшення температури навколишнього середовища при діапазоні відносної вологості $W=30\div 85\%$ приводить до розширення діапазону генерації автогенераторного перетворювача вологості і до збільшення чутливості пристрою до вимірюваної величини. Діапазон генерації автогенераторного перетворювача вологості при температурі $T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ набуває значення 823 кГц (середнє значення чутливості – 16,18 кГц/%).

Ключові слова: пристрій для вимірювання вологості, частотний перетворювач, вологочутливий резистивний елемент, функція перетворення, рівняння чутливості.

Abstract. A device for measuring humidity with a moisture-sensitive resistive element HR202 has been developed. Based on the mathematical modeling of the electrical characteristics of the development, analytical expressions for the transformation function and the sensitivity equation are obtained. It is experimentally established that the increase in ambient temperature in the range of relative humidity $W = 30 \div 85\%$ leads to an expansion of the generation range of the autogenerator humidity converter and to an increase in the sensitivity of the device to the measured value. The generation range of the autogenerator humidity converter at a temperature $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ becomes 823 kHz (average sensitivity value - 16.18 kHz/%).

Keywords: humidity measuring device, frequency converter, moisture-sensitive resistive element, conversion function, sensitivity equation.

Вступ

Важливою різновидністю вимірювальних перетворювачів є сенсори вологості. В Україні вимірювання вологості є одним із поширених напрямків вимірювань фізичних величин. Тому досить важливим завданням сучасного приладобудування та контрольно-вимірювальної техніки є вибір надійних методів вимірювання вологості для різних виробництв, створення вимірювальних приладів необхідної точності, стабільності та швидкодії, а також дослідження впливів на результат вимірювань всієї сукупності факторів, які супроводжують вимірювальний процес [1–4].

Нині розроблено різноманітні варіанти сенсорів для контролю мікровологості газоподібних та рідких середовищ і відносної вологості в промислових приміщеннях. Однак, незалежно від конструктивного виконання первинних перетворювачів їх метрологічні характеристики (поріг чутливості, точність, діапазон вимірювань, постійна часу тощо) визначаються насамперед фізико-хімічними і адсорбційними властивостями використаного сорбенту, які залежать від технології формування плівки сорбенту. Перспективним науковим напрямком в цій сфері є створення частотних пристроїв вимірювання вологості на основі напівпровідникових структур з від'ємним опором, в розвиток теорії якого значний здобуток внесли вітчизняні та закордонні вчені. Саме використання частотного принципу перетворення «вологість-частота» в поєднанні з технологією мікроелектроніки сприяє підвищенню метрологічних та економічних показників перетворювачів вологості, виготовлених у вигляді гібридних інтегральних схем [3, 4]. Отже, розробка та практичне застосування таких пристроїв є актуальною задачею.

Теоретичні та експериментальні дослідження

Встановлено, що технічний рівень сенсорних систем вологості залежить насамперед від технічних розробок перетворювача, а саме його чутливих елементів, конструктивного рішення, принципу дії та

технології виготовлення [5 – 8]. Це мотивує для реалізації подальших досліджень. Метою дослідження є розробка пристрою з частотним виходом для вимірювання вологості на основі напівпровідникових структур з від’ємним опором (рис. 1). Експериментальним зразком слугував вологочутливий резистивний елемент HR202.

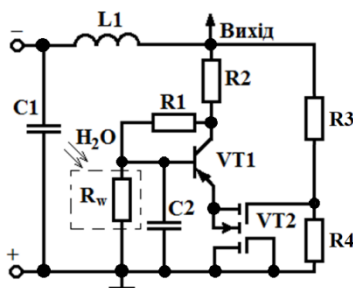


Рис. 1. Електрична схема пристрою з частотним виходом для вимірювання вологості

Без знання параметрів перетворювачів вологості неможливо їх створити, тому задача полягала в розробці математичної моделі, на основі рішення якої будуть визначені функція перетворення та рівняння чутливості. На основі електричної схеми пристрою з частотним виходом для вимірювання вологості (рис. 1), по колу позитивного зворотного зв'язку визначено рівняння, на основі якого отримано аналітичний вираз функції перетворення:

$$F = \frac{\pi \cdot R_W(W) \cdot C_{eb} \cdot C_{ds} \cdot C_{cb} \pm \sqrt{\pi^2 \cdot R_W^2(W) \cdot C_{eb}^2 \cdot C_{ds}^2 \cdot C_{cb}^2 + K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5}}{4 \cdot \pi^2 \cdot L_1 \cdot R_W(W) \cdot C_{eb} \cdot C_{ds} \cdot C_{cb}}, \quad (1)$$

де $K_1 = 4 \cdot \pi^2 \cdot L_1 \cdot R_W^2(W) \cdot C_{cb} \cdot C_{ds}^2 \cdot C_{eb}^2$, $K_2 = -4 \cdot \pi^2 \cdot L_1^2 \cdot C_{eb}^2 \cdot C_{cb}^2 - 8 \cdot \pi^2 \cdot L_1^2 \cdot C_{eb} \cdot C_{cb}^2 \cdot C_{ds}$,

$K_3 = -4 \cdot \pi^2 \cdot L_1^2 \cdot C_{ds}^2 \cdot C_{cb}^2 + L_1 \cdot C_{eb}^2 \cdot C_{cb}$, $K_4 = 2 \cdot L_1 \cdot C_{eb} \cdot C_{ds} \cdot C_{cb} + L_1 \cdot C_{ds}^2 \cdot C_{cb}$,

$K_5 = 4 \cdot \pi^2 \cdot L_1 \cdot R_W^2(W) \cdot C_{eb}^2 \cdot C_{ds}^2 \cdot C_{cb}^2$.

Позначення, які використовувались в аналітичних виразах, а саме: $R_W(W)$ – вологочутливий резистивний елемент; L_1 – індуктивність коливального контуру; C_{eb} – ємність р-п-переходу емітер-база; C_{cb} – ємність р-п-переходу колектор-база; C_{ds} – ємність стік-витік.

На основі виразу (1) теоретично розраховано та експериментально досліджено функції перетворення пристрою для вимірювання вологості. Експериментальні дослідження проводились при різних значеннях температури навколишнього середовища (рис. 2).

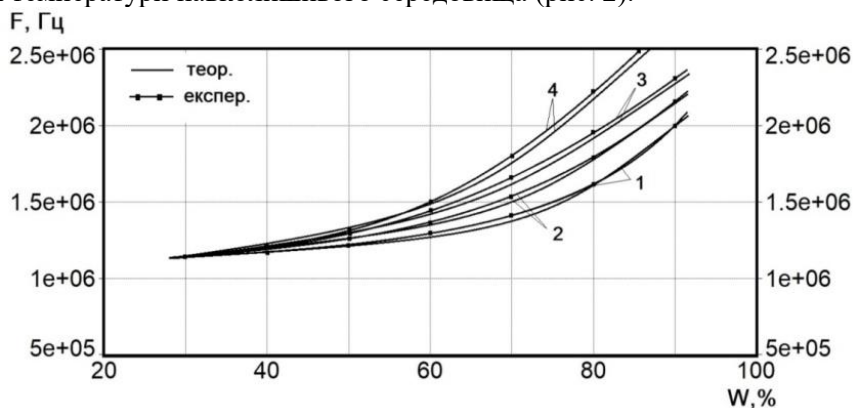


Рис. 2. Експериментальні та теоретичні залежності частоти генерації від зміни відносної вологості повітря:
1 – T=20 °C; 2 – T=30 °C; 3 – T=40 °C; 4 – T=50 °C

В результаті експериментальних досліджень встановлено, що збільшення температури навколишнього середовища при діапазоні відносної вологості $W = 30 \div 85\%$ приводить до розширення діапазону генерації автогенераторного перетворювача вологості, що в свою чергу збільшує чутливість перетворювача при збільшенні температури навколишнього середовища. Таким чином, результати досліджень показали: 823 кГц ($T = 20^\circ\text{C}$, $W = 30 \div 85\%$); 1026 кГц ($T = 30^\circ\text{C}$, $W = 30 \div 85\%$); 1194 кГц ($T = 40^\circ\text{C}$, $W = 30 \div 85\%$); 1323 кГц ($T = 50^\circ\text{C}$, $W = 30 \div 85\%$).

Експериментальні та теоретичні залежності чутливості від зміни відносної вологості та температури досліджуваного середовища розробленого пристрою з частотним виходом для вимірювання вологості з вологочутливим резистивним елементом показали, що збільшення температури навколишнього середовища при діапазоні відносної вологості $W = 30 \div 85\%$ приводить до збільшення чутливості. Середні значення чутливості при різних температурах навколишнього середовища: від 5,02 кГц/% до 21,2 кГц/% ($T = 20^\circ\text{C}$, $W = 30 \div 85\%$); від 5,7 кГц/% до 24,9 кГц/% ($T = 30^\circ\text{C}$, $W = 30 \div 85\%$); від 7,2 кГц/% до 28,05 кГц/% ($T = 40^\circ\text{C}$, $W = 30 \div 85\%$); від 8,3 кГц/% до 37,4 кГц/% ($T = 50^\circ\text{C}$, $W = 30 \div 85\%$).

Висновки

Розроблено пристрій з частотним виходом для вимірювання вологості з вологочутливим резистивним елементом HR202. Проведено математичне моделювання пристрою, на основі якого визначено аналітичні вирази функції перетворення та рівняння чутливості. Експериментально встановлено, що збільшення температури навколишнього середовища при діапазоні відносної вологості $W = 30 \div 85\%$ приводить до розширення діапазону генерації автогенераторного перетворювача вологості і до збільшення чутливості пристрою до вимірюваної величини – відносної вологості. Діапазон генерації автогенераторного перетворювача вологості при температурі $T = 20^\circ\text{C}$ набуває значення 823 кГц (середнє значення чутливості – 16,18 кГц/%), а при температурі $T = 50^\circ\text{C}$ – 1323 кГц (середнє значення чутливості – 29,10 кГц/%).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Джексон Р. Г. Новейшие датчики / Р. Г. Джексон. – Москва : Техносфера, 2007. – 384 с.
2. Bozhi, Yang. Compliant and Low-cost Humidity Sensors using Nano-porous Polymer Membranes [Electronic resource] / Bozhi Yang, Burak Aksak, Qiao Lin, Metin Sitti // Appeared in Sensors and Actuators B: Chemical. – 30 March 2006. – Vol. 114, – № 1. – P. 254 – 262.
3. Ashis, Tripathy. Design and Development for Capacitive Humidity Sensor Applications of Lead-Free Ca,Mg,Fe,Ti-Oxides-Based Electro-Ceramics with Improved Sensing Properties via Physisorption / Ashis Tripathy, Sumit Pramanik, Ayan Manna, Satyanarayan Bhuyan, Nabila Farhana Azrin Shah, Zamri Radzi, Noor Azuan Abu Osman // Sensors. – 2016. – № 16. – P. 1135.
4. Hamid, Farahani. Humidity Sensors Principle, Mechanism, and Fabrication Technologies: A Comprehensive Review / Hamid Farahani, Rahman Wagiran, Mohd Nizar Hamidon // Sensors. – 2014. – № 14. – P. 7881 – 7939.
5. Осадчук В. С. Сенсори вологості : монографія / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, Л. В. Крилик. – Вінниця : УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2003. – 208 с.
6. Осадчук В. С. Реактивні властивості транзисторів і транзисторних схем : монографія / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук. – Вінниця : УНІВЕРСУМ – Вінниця, 1999. – 275 с.
7. Osadchuk A. Microelectronic Transducer of Gas Concentration based on MOSFET with an Active Inductive Element / A. Osadchuk, V. Osadchuk, O. Seletska, L. Krylik // PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY, R. 95. Warszawa, Poland. – 2019. – N4. – P. 237 – 241, doi:10.15199/48.2019.04.45.
8. Осадчук О. В. Математична модель параметричного перетворювача вологості з частотним виходом / О. В. Осадчук, Л. В. Крилик, Я. О. Осадчук // Прикладні питання математичного моделювання. – 2020. – Т. 3, № 2.1. – С. 206–215.

Осадчук Олександр Володимирович – д.т.н., професор, завідувач кафедри радіотехніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: osadchuk.av69@gmail.com

Крилик Людмила Вікторівна – к.т.н., доцент, доцент кафедри комп'ютерних наук, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: lyudmila.krylik@gmail.com

Осадчук Ярослав Олександрович – к.т.н., доцент кафедри радіотехніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: osadchuk.j93@gmail.com

Звягін Олександр Сергійович – к.т.н., доцент, доцент кафедри радіотехніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: zviahin86@gmail.com

Osadchuk Oleksandr Volodymyrovych - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Radio Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: osadchuk.av69@gmail.com

Krylyk Lyudmyla Viktorivna - Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Computer Science, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: lyudmila.krylik@gmail.com

Osadchuk Iaroslav Oleksandrovych - Ph.D., Associate Professor of Radio Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: osadchuk.j93@gmail.com

Zvyagin Oleksandr Serhiiovych - Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Radio Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: zviahin86@gmail.com