

ПЕРЕТВОРЮВАЧ З ЧАСТОТНИМ ВИХОДОМ ДЛЯ ВОДНЕВОГО ДИХАЛЬНОГО ТЕСТУ ВИЗНАЧЕННЯ СИНДРОМУ НАДЛИШКОВОГО БАКТЕРІАЛЬНОГО РОСТУ

¹ Вінницький національний технічний університет;

²Вінницький національний медичний університет ім. М.І.Пирогова

Анотація. В роботі розглянуто перетворювач концентрації водню для дихальної діагностики синдрому надлишкового бактеріального росту з частотним виходом. На основі математичного моделювання електричних характеристик розробки отримано аналітичні вирази для функції перетворення та рівняння чутливості. В розробленому перетворювачі концентрації газу транзистори реалізують ємність і індуктивність коливального контуру перетворювача концентрації водню, які змінюються від зміни концентрації газу, що дозволило підвищити чутливість перетворювача концентрації газу. Чутливість розробленого перетворювача концентрації водню для дихальної діагностики синдрому надлишкового бактеріального росту з частотним виходом складає 4,5 кГц/ppm.

Ключові слова: частотний перетворювач концентрації газу; від'ємний диференційний опір; концентрація газу; синдром надлишкового бактеріального росту.

Abstract. The paper considers a hydrogen concentration transducer for respiratory diagnosis of bacterial overgrowth syndrome with a frequency output. Analytical expressions for the conversion function and the sensitivity equation were obtained on the basis of mathematical modeling of the electrical characteristics of the development. In the developed gas concentration transducer, transistors realize the capacity and inductance of the oscillating circuit of the hydrogen concentration transducer, which change due to the change in gas concentration, which made it possible to increase the sensitivity of the gas concentration transducer. The sensitivity of the developed hydrogen concentration transducer for respiratory diagnosis of bacterial overgrowth syndrome with frequency output is 4.5 kHz/ppm.

Key words: gas concentration frequency transducer; negative differential resistance; gas concentration; bacterial overgrowth syndrome.

Вступ

Підвищення ефективності діагностування різних захворювань з використанням новітніх методів та приладів, а також різнобічний аналіз ознак є актуальним напрямом сучасної медицини. Неінвазивний метод аналізу видихаємого повітря пацієнтом, в останнє десятиліття викликає підвищений інтерес. На відміну від тонкокишкового аспірату для кількісної культури, дихальні тести є більш доступними, безпечними, недорогими та неінвазивними методами дослідження, у зв'язку з чим нині розглядаються як гідна альтернатива еюнальної аспірації та культивуванню для діагностики синдрому надлишкового бактеріального росту. Вимірювані гази можуть включати мічений вуглекислий газ (CO₂), водень (H₂) метан (CH₄). Для досліджень з міченим CO₂ пероральними субстратами є 14C-глікохолат, 13C-глікохолат, 14C-D-ксилоза або 13C-D-ксилоза [1-3]. Для дихальних тестів з воднем та метаном субстратом є глюкоза або лактулоза, інші прості цукри, такі як лактоза, фруктоза, сорбіт також доступні, але на практиці для оцінки синдрому надлишкового бактеріального росту не використовуються [3].

Теоретичні та експериментальні дослідження

Одним із перспективних напрямків при розробці перетворювачів концентрації газу для дихальної діагностики синдрому надлишкового бактеріального росту є використання перетворювачів концентрації газу з частотним виходом на основі реактивних властивостей транзисторних структур з від'ємним диференційним опором [4, 5]. Даний тип перетворювачів дозволяє розв'язати задачу використання аналогово-цифрових перетворювачів, оскільки реалізовує метод перетворення

"інформативний сигнал – частота", який є одним з найкращих для подальшої обробки на комп'ютері [6]. Проведені теоретичні та практичні дослідження показали, що використовуючи реактивні властивості напівпровідникових приладів та транзисторні структури, в яких існує від'ємний диференційний опір, можна значно підвищити чутливість та точність вимірювання концентрації газу, зокрема H_2 [7].

В ході аналізу оптимального варіанта конструкції вторинного перетворювача концентрації газу, було зроблено висновок про доцільність використання частотного методу перетворення інформації, що дозволить підвищити чутливість вимірювання концентрації водню, в діагностичних медичних систем, а також забезпечити високу завадостійкість інформативного сигналу.

Транзисторні структури з від'ємний диференційним опором, який забезпечується внутрішнім зворотним зв'язком і слугує для компенсації втрат в коливальному контурі автогенератора. Якщо величина падіння напруги і величини повного опору транзисторної структури залежить від величини вимірювального параметра, то за зміною частоти коливань такого автогенераторного пристрою можна визначати величину вимірюваної фізичної величини. На рис. 1 представлена схема перетворювача концентрації газу з частотним виходом з чутливим до водню резистивним елементом на основі MEMS технології MICS-2714 з активним індуктивним елементом.

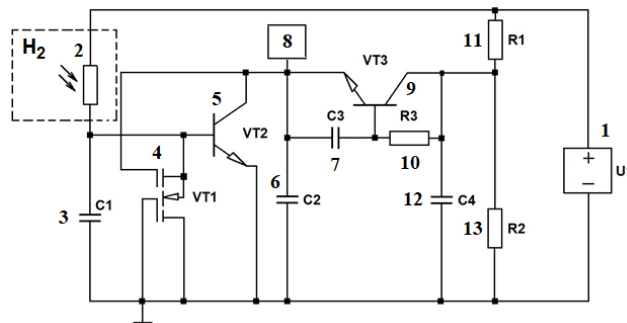


Рис.1. Схема перетворювача концентрації газу з частотним виходом для дихальної діагностики синдрому надлишкового бактеріального росту

В перетворювачі концентрації газу з частотним виходом, ємність коливального контуру автогенератора реалізується ємнісною складовою повного опору на електродах стік-колектор польового і біполярного транзисторів VT1 і VT2, а індуктивність реалізується індуктивною складовою повного опору на електродах емітер-колектор транзистора VT3 і фозозсувного ланцюга С3R3.

Розрахунки функції перетворювача концентрації газу з частотним виходом, що являє собою залежність частоти генерації від зміни концентрації водню, можна одержати на основі рішення системи рівнянь відповідно до перетвореної еквівалентної схеми. У загальному вигляді функція перетворення описується рівнянням

$$F = \frac{1}{2\pi R_g(C) C_{EKV}(C)} \left[\frac{R_g^2(C) C_{EKV}(C)}{L_{EKV}} - 1 \right]^{1/2}, \quad (1)$$

де $R_g(C)$ – динамічний диференціальний від'ємний опір генератора; $C_{EKV}(C)$ – еквівалентна ємність перетворювача; L_{EKV} – індуктивність коливального контуру.

Чутливість перетворювача концентрації газу для дихальної діагностики синдрому надлишкового бактеріального росту визначається на основі (1)

$$S_F^C = \frac{R_g(C) C_{EKV}(C) \frac{dR_g(C)}{dC} + R_g^2(C) \frac{dC_{EKV}(C)}{dC}}{L_{EKV}} - \frac{L_{EKV}}{4\pi R_g(C) C_{EKV}(C) \sqrt{\frac{R_g^2(C) C_{EKV}(C)}{L_{EKV}} - 1}} - \frac{\sqrt{\frac{R_g^2(C) C_{EKV}(C)}{L_{EKV}} - 1} \frac{dR_g(C)}{dC}}{2\pi R_g^2(C) C_{EKV}(C)} - \frac{\sqrt{\frac{R_g^2(C) C_{EKV}(C)}{L_{EKV}} - 1} \frac{dC_{EKV}(C)}{dC}}{2\pi R_g(C) C_{EKV}^2(C)}. \quad (2)$$

Для перевірки теоретичних розрахунків параметрів перетворювача концентрації водню для дихальної діагностики синдрому надлишкового бактеріального росту з частотним виходом проведено їхнє порівняння з експериментальними даними, які проводилося в діапазоні 850-1150 кГц. На рис. 2

представлені теоретичні та експериментальні залежності частоти генерації від концентрації водню. Як видно з графіку (рис.2) чутливість розробленого перетворювача концентрації водню для дихальної діагностики синдрому надлишкового бактеріального росту з частотним виходом складає 4,5 кГц/ррм.

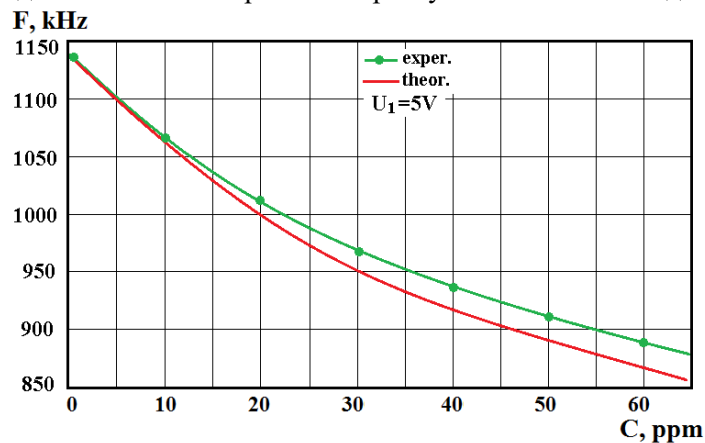


Рис.2. Теоретичні та експериментальні залежності частоти генерації від концентрації водню

Висновки

Розроблено перетворювача концентрації водню для дихальної діагностики синдрому надлишкового бактеріального росту з частотним виходом. На основі математичного моделювання електричних характеристик розробки отримано аналітичні вирази для функції перетворення та рівняння чутливості. В розробленому перетворювачі концентрації газу транзистори реалізують ємність і індуктивність коливального контуру перетворювача концентрації водню, які змінюються від зміни концентрації газу, що дозволило підвищити чутливість перетворювача концентрації газу. Чутливість розробленого перетворювача концентрації водню для дихальної діагностики синдрому надлишкового бактеріального росту з частотним виходом складає 4,5 кГц/ррм.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Bures J, Cyrany J, Kohoutova D, et al. Small intestinal bacterial overgrowth syndrome // World J Gastroenterol 2010;16: 2978–2990.
2. Bauer TM, Schwacha H, Steinbruckner B, et al. Diagnosis of small intestinal bacterial overgrowth in patients with cirrhosis of the liver: poor performance of the glucose breath hydrogen test. J Hepatol 2000;33:382–386.
3. Choung RS, Ruff KC, Malhotra A, et al. Clinical predictors of small intestinal bacterial overgrowth by duodenal aspirate culture // Aliment Pharmacol Ther 2011;33:1059–1067.
4. Осадчук В. С., Осадчук А. В. Реактивные свойства транзисторов и транзисторных схем. - Винница: «Универсум-Винница», 1999. - 275 с.
5. Осадчук В. С., Осадчук О. В. Напівпровідникові прилади з від'ємним опором. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 162 с.
6. Osadchuk A.V., Osadchuk V.S. Frequency Transducers of Gas Concentration Based on Transistor Structures with Negative Differential Resistance. Chapter 12. In: Sidorenko A., Hahn H. (eds) Functional Nanostructures and Sensors for CBRN Defence and Environmental Safety and Security. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Springer, Dordrecht. 18 March 2020, pp. 161-184.
7. Патент на корисну модель № 153888 МПК G01N 27/00. (Україна). Мікроелектронний сенсор з частотним виходом для водневого дихального тесту визначення синдрому надлишкового бактеріального росту / Осадчук О.В., Осадчук Н.І., Осадчук Я.О., Звягін О.С., Звягіна О.В. // Заявка - № u202300446; заявл. 08.02.2023; опубл. 13.09.2023, бюл. №37

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

Осадчук Неоніла Іванівна – канд. мед. наук, доцент кафедри мікробіології, Вінницький національний медичний університет ім. М.І. Пирогова, e-mail: osadchuk.n70@gmail.com

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

Osadchuk Oleksandr Volodymyrovych - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of information radioelectronic technologies and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: osadchuk.av69@gmail.com

Osadchuk Neonila Ivanivna — Ph.D.Med., Associate Professor of the Department of Microbiology, National Pirogov Memorial Medical University, Vinnytsia, Ukraine, e-mail: osadchuk.n70@gmail.com

Osadchuk Iaroslav Oleksandrovych - Ph.D., Associate Professor of the Department information radioelectronic technologies and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: osadchuk.j93@gmail.com