УДК 621.383; 621.317

В. С. Осадчук
О. В. Осадчук
Г.І. Мартинюк

МАГНІТНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ НА ОСНОВІ БІПОЛЯРНОГО І ДВОЗАТВОРНОГО МДН ТРАНЗИСТОРІВ З СЕНСОРОМ ХОЛЛА

Вінницький національний технічний університет

Анотація *Розроблено математичну модель сенсора магнітного поля, з якої визначено аналітичні залежності функцій перетворення і чутливості.* ***Н****айбільша чутливість перетворювача лежить у діапазоні від 1 мТл до 175 мТл і складає 500…950 Гц/мТл. Використання принципу перетворення «індукція магнітного поля-частота» дозволяє суттєво покращити метрологічні показники перетворювача магнітного поля.*

Ключові слова:перетворювач магнітного поля, частота, від'ємний диференційний опір математична модель.

Abstract. *A mathematical model of the magnetic field sensor has been developed, from which the analytical dependences of the transformation and sensitivity functions have been determined. The highest sensitivity of the converter is in the range from 1 mT to 175 mT and is 500… 950 Hz/mT. The use of the "magnetic field-frequency induction" conversion principle allows to significantly improve the metrological parameters of the magnetic field transducer.*

Keywords: *magnetic field transducer, frequency, negative differential resistance mathematical model.*

Вступ

Важливим різновидом вимірювальних перетворювачів є магнітні сенсори. Мікрочастотні сенсори магнітного поля володіють високою чутливістю до вимірювальних параметрів, малою масою, габаритами, інформаційною та конструктивною і технологічною сумісністю з мікроелектронними засобами обробки інформації [1-3]. На їх основі створюються безколекторні електродвигуни постійного струму, схеми електронного запалювання автомобілів, пристрої синхронізації швидкості обертання електродвигунів, безіндукційні головки зчитування магнітних записів та інше. Новим напрямком в розробці мікроелектронних перетворювачів магнітного поля є створення частотних перетворювачів на основі напівпровідникових структур з від'ємним опором.

Теоретичні та експериментальні дослідження

На теперішній час проводяться інтенсивні дослідження з вивчення властивостей аналогових перетворювачів [4, 5], проте дослідження частотних перетворювачів магнітного поля на основі реактивних властивостей транзисторів знаходяться у початковій стадії. Тому дослідження властивостей перетворювачів магнітного поля на основі транзисторних структур з від'ємним опором представляють інтерес для розробників вимірювальної апаратури магнітного поля.

Електрична схема перетворювача подана на рис. 1. Вона являє собою гібридну інтегральну схему, яка складається з біполярного і польового транзисторів, опорів R_1–R_2, ємності C_1, що дозволяє створити автогенераторний пристрій. Коливальний контур пристрою утворений на основі еквівалентної ємності повного опору на електродах стоку польового двозатворного транзистора VT2 і колектор біполярного транзистора VT1 та пасивної індуктивності L1.

На елемент Холла діє магнітне поле, що приводить до зміни як еквівалентної ємності коливального контуру, так і від'ємного опору на виході пристрою, що викликає зміну резонансної частоти автогенератора. Втрати енергії в коливальному контурі компенсуються за рахунок від'ємного опору [6-8].

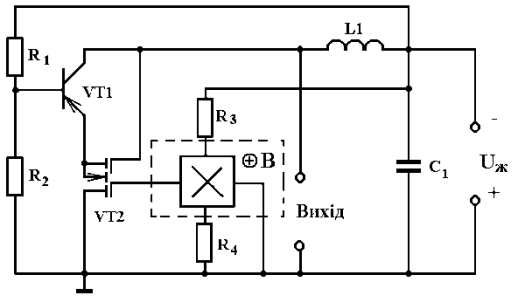

Рис.1.Електрична схема частотного перетворювача магнітного поля

Опори (R_1–R_2) здійснюють живлення автогенераторного пристрою з допомогою джерела постійної напруги. Ємність C_1 запобігає проходженню змінного струму через джерело постійної напруги. Вольт-амперна характеристика на вихідних клемах, яка розраховується на основі еквівалентної схеми перетворювача, має спадну ділянку, що відповідає від'ємному опору. Згідно з методом стійкості Ляпунова, виходячи з еквівалентної схеми перетворювача, визначено функцію перетворення, яка є залежністю частоти генерації від магнітної індукції. Аналітична залежність функції перетворення має вигляд

$$F_0 = \left(\sqrt{\frac{R_g^2(B)C(B)}{L} - 1} \right) \Big/ \left(2\pi \left| R_g(B) \right| C(B) \right), \tag{1}$$

де $R_g(B)$ – активна складова повного опору на електродах стік-колектор біполярного транзистора VT1 і польового транзистора VT2, яка має від'ємне значення; $C(B)$ – ємність коливального контура, яка визначається ємнісною складовою повного опору на електродах стік-колектор транзисторів VT1 і VT2; L – індуктивність.

Графічна залежність функції перетворення подана на рис. 2. Чутливість перетворювача магнітного поля з частотним виходом визначається з виразу (1) і описується формулою (2). Графік залежності чутливості перетворювача магнітного поля з частотним виходом подано на рис. 3.

$$S_B^{F_0} = \frac{dF_0}{dB} = -\frac{1}{2}\frac{\sqrt{\frac{R_g^2(B)C(B)}{L} - 1}\left(\frac{\partial R_g(B)}{\partial B}\right)}{\pi R_g^2(B)C(B)} - \frac{1}{2}\frac{\sqrt{\frac{R_g^2(B)C(B)}{L} - 1}\left(\frac{\partial C(B)}{\partial B}\right)}{\pi R_g(B)C^2(B)} + \\ + \frac{\frac{1}{4}\left(2R_g(B)C(B)\left(\frac{\partial R_g(B)}{\partial B}\right)\Big/ L + R_g^2(B)\left(\frac{\partial C(B)}{\partial B}\right)\Big/ L \right)}{\pi R_g(B)C(B)\sqrt{\frac{R_g^2(B)C(B)}{L} - 1}} . \tag{2}$$

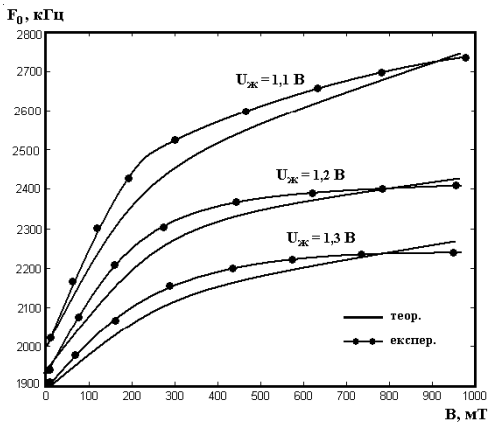

Рис. 2. Залежності частоти генерації від індукції магнітного поля

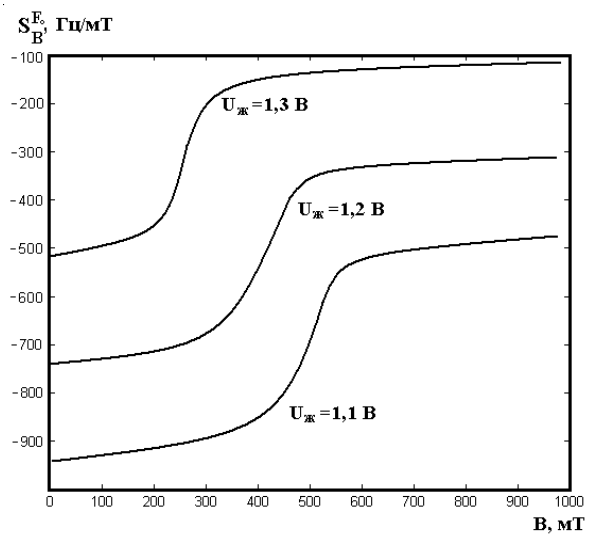

Рис. 3. Залежності чутливості перетворювача
від індукції магнітного поля

Як видно з графіка на рис. 3, найбільша чутливість приладу лежить у діапазоні від 1 мТл до 175 мТл і складає 500…950 Гц/мТл.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Джексон Р.Г. Новейшие датчики. –Москва: Техносфера, 2007. – 384 с.
2. Дж. Фрайден. Современные датчики. Справочник.– Москва: Техносфера, 2005. - 592 с.
3. Optical Sensors. Industrial Environmental and Diagnostic Applications. Ramaier Narayanaswamy Otto S. Wolfbeis. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2004. – 423 p.
4 V.S. Osadchuk, A.V. Osadchuk. Radiomeasuring Microelectronic Transducers of Physical Quantities // Proceedings of the 2015 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). 21-23 May 2015. Omsk. DOI: 10.1109/SIBCON.2015.7147167
5. A.V.Osadchuk, V.S. Osadchuk, I.O. Osadchuk, N.V. Titova, O.Yu. Pinaeva, Piotr Kisała, Saule Rakhmetullina, Aliya Kalizhanova, Zhanar Azeshova. Optical-frequency gas flow meter on the basis of transistor structures with negative differential resistance // Proc. SPIE 11456, Optical Fibers and Their Applications 2020, 114560F (12 June 2020); –P.74-81. https://doi.org/10.1117/12.2569771
6.Осадчук В. С., Осадчук О. В. Реактивные свойства транзисторов и транзисторных схем. Винница: «Универсум-Винница», 1999. – 275 с.
7. Osadchuk A.V., Osadchuk V.S., Osadchuk I.A., Seletska O.O., Kisała P., Nurseitova K. Theory of photoreactive effect in bipolar and MOSFET transistors. *Proceedings SPIE Volume 11176, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments*, 2019; 111761I (2019).
8. Osadchuk A.V., Osadchuk V.S., Osadchuk I.A., Maksat Kolimoldayev, Paweł Komada, Kanat Mussabekov. Optical transducers with frequency output. *Proc. SPIE 10445, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments*, 2017, 104451X (2017).

Осадчук Володимир Степанович – *доктор технічних наук, професор, професор кафедри радіотехніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна. e-mail: osadchuk.vs38@gmail.com*

Осадчук Олександр Володимирович – *доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри радіотехніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна. e-mail: osadchuk.av69@gmail.com*

Мартинюк Галина Іванівна – *аспірантка кафедри радіотехніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.*

Osadchuk Volodymyr Stepanovych – *Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Radio Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine. e-mail: osadchuk.vs38@gmail.com*

Osadchuk Alexander Vladimirovich – *Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Radio Engineering, Vinnitsa National Technical University, Vinnitsia, Ukraine. e-mail: osadchuk.av69@gmail.com*

Martyniuk Halyna Ivanivna – *graduate student of the Department of Radio Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine.*