

**ПЕРЕТВОРЮВАЧ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ОСНОВІ МАГНІТОЧУТЛИВОГО ДІОДА ТА АКТИВНО – ІНДУКТИВНОГО ЕЛЕМЕНТА**

Розроблено математичну модель перетворювача з магніодіодом та активним індуктивним елементом, яка складається з біполярного, двох МДН-транзисторів та магніодіода в якості магніточутливого елемента, на основі якої отримано аналітичну та графічну залежності функції перетворення та чутливості перетворювача.

Ключові слова: магнітний перетворювач, біполярний транзистор, польовий транзистор, функція перетворення, чутливість.

O.V. OSADCHUK, V.V. MARTYNYUK, L.V. KRYLYK, O.M. ZHAGLOVSKA  
Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine

**MAGNETIC TRANSDUCER WITH A MAGNETOSENSITIVE DIOD AND AN ACTIVE INDUCTIVE ELEMENT**

*Abstract – The aim of the research - to increase the sensitivity of measurement of magnetic induction.*

*This work presents magnetic transducer with frequency output on the basis of semiconductor structures with negative resistance, the principle of which operation is based on the functional connection of reactive properties of transistor structures with negative resistance from the effects of magnetic induction, which enables creation and development competitive is models of this production.*

*The mathematical model of frequency magnetic transducer composed of bipolar and mosfet transistors with diod as magnetosensitive element and an active inductive element has been developed. based on the analytical and graphical depending conversion function and sensitivity converter.*

*Keywords: magnetic transducer, bipolar transistor, field transistor, conversion function, sensitivity.*

**Вступ**

Застосування напівпровідникових структур з від'ємним опором в класичних схемах підсилювальних, перемикаючих, генераторних і логічних пристроях добре досліджено. Проте застосування магнітореактивного елемента на основі магніодіода в структурах для створення мікроелектронних перетворювачів тільки починається. Мікроелектронна технологія дає можливість значно підвищити їх чутливість, діапазон вимірюваних параметрів, швидкодію і надійність [1-3]. В таких перетворювачах діод виступає як в якості магніточутливого елемента, так і в якості елемента, який утворює генерацію електричних коливань.

В даній роботі проведені дослідження функції перетворення та рівняння чутливості магніточутливого приладу на основі двох МДН-транзисторів та діода як елемента чутливого до магнітного поля.

**Математична модель**

Схема приладу на основі магнітного перетворювача з двома МДН-транзисторами, з чутливим елементом – магніодіодом та активно-індуктивним елементом показана на рис. 1. Роль індуктивної складової виконує біполярний транзистор VT3 з RC-колом, утвореним конденсатором C2 та резистором R2. Таким чином, коливальний контур утворено ємнісною складовою повного опору на електродах стік-стік МДН-транзисторів VT1 та VT2 та індуктивною складовою повного опору на електродах емітер-колектор біполярного транзистора VT3 [4, 5].

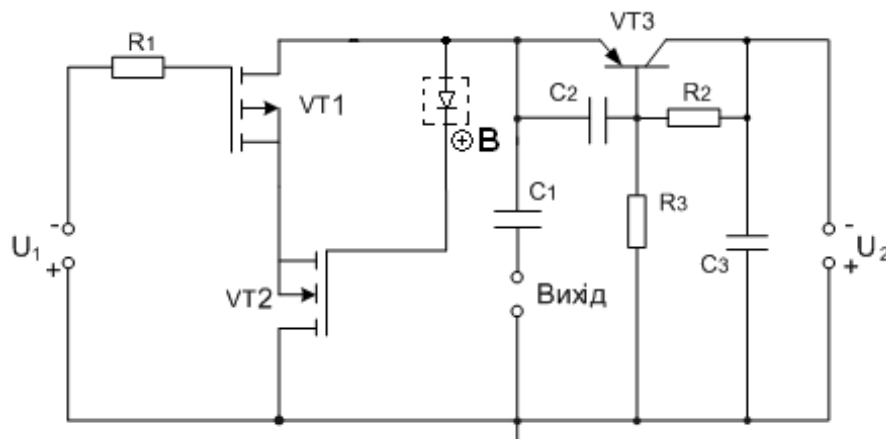


Рис. 1. Електрична схема приладу з магніодіодом та активно-індуктивним елементом

Для виявлення властивостей приладу на основі магнітного перетворювача необхідно розробити математичну модель, на основі якої можна отримати залежність активної і реактивної складової повного

опору структури від магнітної індукції, аналітичний вираз функції перетворення та рівняння чутливості приладу.

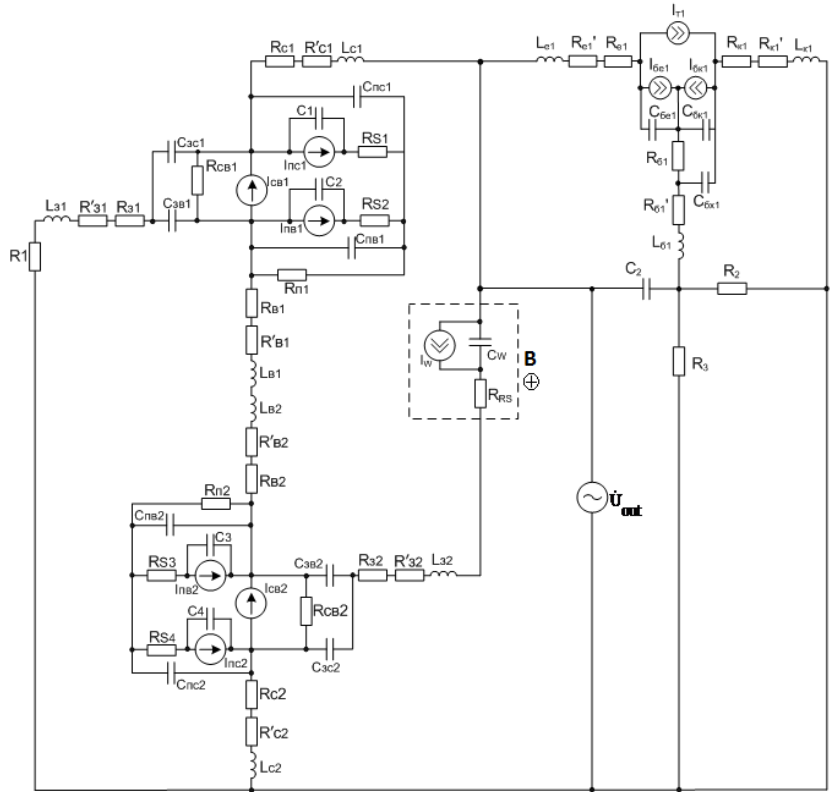


Рис. 2. Еквівалентна схема приладу на основі магнітного перетворювача

Для визначення функції перетворення приладу (рис. 1) необхідно розрахувати повний опір на електродах стік-стік МДН-транзисторів VT1 і VT2 згідно з його еквівалентною схемою для змінного струму (рис. 2) [6]. Для зручності розрахунків на рис. 3 зображена перетворена еквівалентна схема приладу.

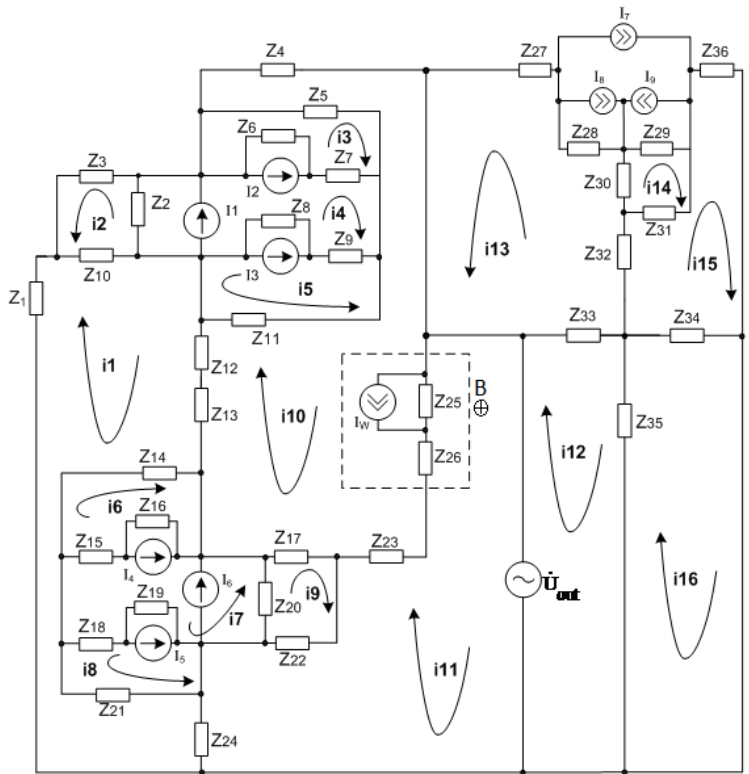


Рис. 3. Перетворена еквівалентна схема приладу на основі магнітного перетворювача

На схемі на рис. 2 використано наступні позначення:  $C_{3c}$  – ємність затвор-стік транзисторів VT1, VT2,  $C_{3e}$  – ємність затвор-витік,  $C_{nc}$  – ємність підкладка-стік,  $C_1, C_4$  – ємність р-п переходу стоку,  $C_2, C_3$  – ємність р-п переходу витоку,  $C_{ne}$  – ємність підкладка-витік,  $C_w$  – ємність магнітодіода,  $C_{\delta k1}, C_{\delta e1}$  – ємність переходу база-колектор та база-емітер транзистора VT3 відповідно,  $C_{\delta x1}$  – ємність між зовнішнім виводом бази і колектора транзистора VT3,  $R_{\delta 1}, R_{k1}, R_{e1}$  – об’ємний опір бази, колектора і емітера транзистора VT3,  $I_1, I_6$  – струми стоку-витоку,  $I_2, I_5$  – струми переходів підкладка-стік,  $I_3, I_4$  – струм переходів підкладка-витік,  $I_8, I_9$  – струм база-емітер та струм база-колектор транзистора VT3 відповідно,  $I_w$  – струм магнітодіода,  $R_2$  і  $C$  – опір резистора  $R_2$  та ємність конденсатора  $C_2$  фазозсувного кола відповідно.

На схемі на рис. 3 використано наступні позначення:  $Z_1 = R_1 + R_{31} + R'_{31} + j\omega L_{31}$ ,  $Z_2 = R_{c61}$ ,  $Z_3 = -j/(\omega C_{3c1})$ ,  $Z_4 = R_{c1} + R'_{c1} + j\omega L_{c1}$ ,  $Z_5 = -j/(\omega C_{nc1})$ ,  $Z_6 = -j/(\omega C_1)$ ,  $Z_7 = R_{S1}$ ,  $Z_8 = -j/(\omega C_2)$ ,  $Z_9 = R_{S2}$ ,  $Z_{15} = R_{S3}$ ,  $Z_{10} = -j/(\omega C_{3e1})$ ,  $Z_{11} = \frac{R_{n1}}{1 + \omega^2 R_{n1}^2 C_{ne1}^2} - j \frac{\omega R_{n1}^2 C_{ne1}}{1 + \omega^2 R_{n1}^2 C_{ne1}^2}$ ,  $Z_{12} = R_{\delta 1} + R'_{\delta 1} + j\omega L_{\delta 1}$ ,  $Z_{13} = R_{\delta 2} + R'_{\delta 2} + j\omega L_{\delta 2}$ ,  $Z_{14} = \frac{R_{n2}}{1 + \omega^2 R_{n2}^2 C_{ne2}^2} - j \frac{\omega R_{n2}^2 C_{ne2}}{1 + \omega^2 R_{n2}^2 C_{ne2}^2}$ ,  $Z_{16} = -j/(\omega C_3)$ ,  $Z_{17} = -j/(\omega C_{3e2})$ ,  $Z_{18} = R_{S4}$ ,  $Z_{19} = -j/(\omega C_4)$ ,  $Z_{20} = R_{c62}$ ,  $Z_{21} = -j/(\omega C_{nc2})$ ,  $Z_{22} = -j/(\omega C_{3c2})$ ,  $Z_{23} = R_{32} + R'_{32} + j\omega L_{32}$ ,  $Z_{24} = R_{c2} + R'_{c2} + j\omega L_{c2}$ ,  $Z_{26} = R_{RS}$ ,  $Z_{25} = -j/(\omega C_w)$ ,  $Z_{27} = R_{e1} + R'_{e1} + j\omega L_{e1}$ ,  $Z_{28} = -j/(\omega C_{\delta e1})$ ,  $Z_{29} = -j/(\omega C_{\delta k1})$ ,  $Z_{30} = R_{\delta 1}$ ,  $Z_{31} = -j/(\omega C_{\delta x1})$ ,  $Z_{32} = R'_{\delta 1} + j\omega L_{\delta 1}$ ,  $Z_{33} = -j/(\omega C)$ ,  $Z_{34} = R_2$ ,  $Z_{35} = R_3$ .

Для визначення функції перетворення необхідно на основі розв’язку системи рівнянь Кірхгофа знайти залежність частоти генерації від величини магнітного поля. Ця залежність визначається по контуру зворотного струму згідно еквівалентної схеми (рис. 3) на основі теорії стійкості Ляпунова. Функція перетворення та чутливість приладу на основі магнітного перетворювача в цьому випадку описуються виразами (1) – (2):

$$F = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\sqrt{D} - (L_{екв} P - R_{n2}^2 C_{ne2}^2 A - R_{n2}^2 C_{ne2}^2 P)}{2L_{екв} \cdot P \cdot R_{n2}^2 \cdot C_{ne2}^2}}; \quad (1)$$

$$S_B^F = \frac{1}{8} \sqrt{2} \left[ \left( D_1 L_{екв} \left( \frac{\partial}{\partial B} C_w(B) \right) C_{nc2} C_{3e2} - D_1 R_{n2}^2 C_{ne2}^2 \left( \left( \frac{\partial}{\partial B} C_w(B) \right) C_{nc2} - \left( \frac{\partial}{\partial B} C_w(B) \right) C_{3e2} - \left( \frac{\partial}{\partial B} C_w(B) \right) C_{nc2} C_{3e2} \right) - 2L_{екв} \left( \frac{\partial}{\partial B} C_w(B) \right) C_{nc2} C_{3e2} R_{n2}^2 C_{ne2}^2 A - 2L_{екв} P R_{n2}^2 C_{ne2}^2 \times \right. \right. \\ \left. \times \left( \left( \frac{\partial}{\partial B} C_w(B) \right) C_{nc2} + \left( \frac{\partial}{\partial B} C_w(B) \right) C_{3e2} \right) \right] / \sqrt{D_2} - L_{екв} \left( \frac{\partial}{\partial B} C_w(B) \right) C_{nc2} C_{3e2} + R_{n2}^2 C_{ne2}^2 \times \\ \times \left( \frac{\partial}{\partial B} C_w(B) \right) C_{nc2} + R_{n2}^2 C_{ne2}^2 \left( \frac{\partial}{\partial B} C_w(B) \right) C_{3e2} + R_{n2}^2 C_{ne2}^2 \left( \frac{\partial}{\partial B} C_w(B) \right) C_{nc2} C_{3e2} \right] / \\ / \left( L_{екв} C_w(B) C_{nc2} C_{3e2} R_{n2}^2 C_{ne2}^2 \right) - \left( \left( \sqrt{D_2} - D_1 \right) \left( \frac{\partial}{\partial B} C_w(B) \right) \right) / \left( L_{екв} P R_{n2}^2 C_{ne2}^2 \right) \right] / \pi \times \\ \times \sqrt{(\sqrt{D_2} - D_1) / (L_{екв} P R_{n2}^2 C_{ne2}^2)}, \quad (2)$$

де  $A = C_{3e2} C_{nc2} + C_w(B) C_{nc2} + C_w(B) C_{3e2}$ ;  $P = C_w(B) \cdot C_{nc2} \cdot C_{3e2}$ ;

$$D = (L_{екв} P - R_{n2}^2 C_{ne2}^2 A - R_{n2}^2 C_{ne2}^2 P)^2 - 4L_{екв} \cdot P \cdot R_{n2}^2 \cdot C_{ne2}^2 \cdot A;$$

$$D_1 = L_{екв} C_w(B) C_{nc2} C_{3e2} - R_{n2}^2 C_{ne2}^2 (C_{3e2} C_{nc2} + C_w(B) C_{nc2} + C_w(B) C_{3e2}) - R_{n2}^2 C_{ne2}^2 C_w(B) C_{nc2} C_{3e2};$$

$$D_2 = (L_{екв} C_w(B) C_{nc2} C_{3e2} - R_{n2}^2 C_{ne2}^2 (C_{nc2} C_{3e2} + C_w(B) C_{nc2} + C_w(B) C_{3e2}) - R_{n2}^2 C_{ne2}^2 C_w(B) C_{nc2} C_{3e2})^2 - \\ - 4L_{екв} C_w(B) C_{nc2} C_{3e2} R_{n2}^2 C_{ne2}^2 (C_{nc2} C_{3e2} + C_w(B) C_{nc2} + C_w(B) C_{3e2}).$$

В формулі (1)  $L_{екв}$  – еквівалентна індуктивність, утвореного транзистором VT3 та фазозсувним колом на основі резистора  $R_2$  та конденсатора  $C_2$ .  $L_{екв}$  визначається із повного опору.

На рис. 4 показані експериментальні та теоретичні залежності частоти генерації приладу на основі магнітного перетворювача від зміни магнітної індукції. На рис. 5 зображена залежність чутливості від величини магнітної індукції.

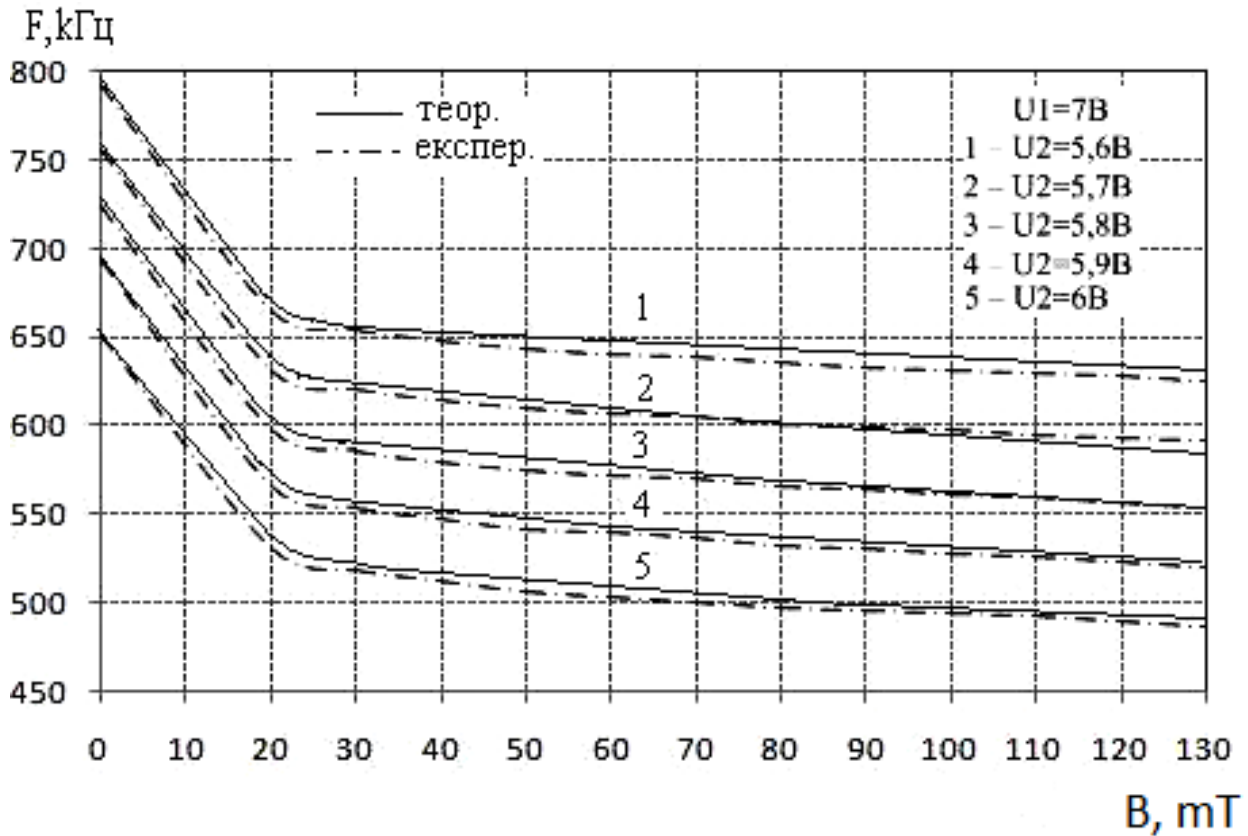


Рис. 4. Функції перетворення приладу від зміни магнітної індукції

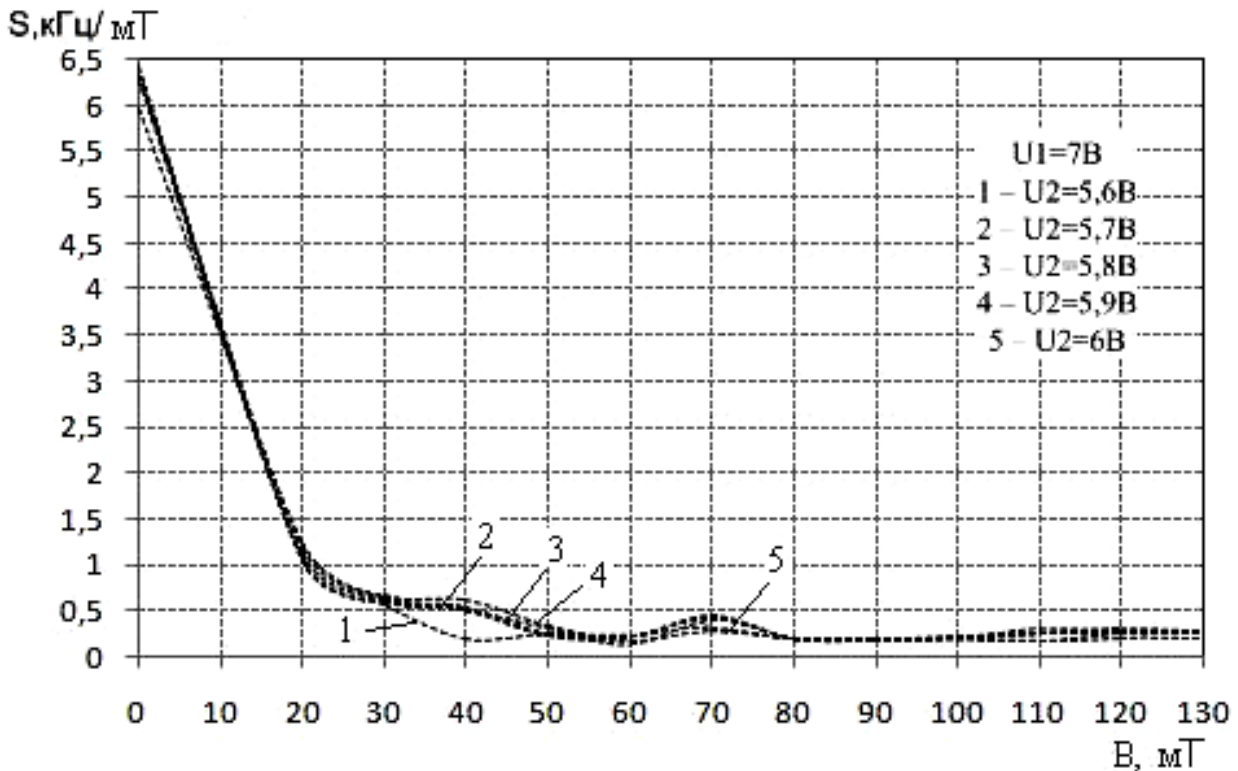


Рис. 5. Залежність чутливості вимірювального приладу від величини магнітної індукції

Як видно з рис. 4, частота генерації зменшується зі збільшенням магнітної індукції, а на ділянці від 1 до 20  $\text{mT}$  спостерігається більша залежність частоти генерації від зміни магнітної індукції. Експериментальні та теоретичні залежності мають добрий збіг.

На рис. 5 видно, що зі зміною магнітної індукції від 1 до 130  $\text{mT}$ , чутливість змінюється від 6,4 до 0,2  $\text{kГц/мТ}$ . Максимальна чутливість спостерігається при напрузі живлення 5,6 В та напрузі керування 7В.

Література

1. Новицкий П.В. Цифровые приборы с частотными датчиками / П. В. Новицкий, В. Г. Кноринг, В. С. Гутников // Л.: Энергия, 1970. – 424 с.
2. Осадчук О.В. Мікроелектронні частотні перетворювачі на основі транзисторних структур з від'ємним опором / О. В. Осадчук –Вінниця: «Універсум-Вінниця», 2000. – 303 с.
3. Викулин И. М. Двухколлекторные магнитотранзисторы / И. М. Викулин, М. А. Глауберман, Г. А. Егиазарян // ПиСУ. – 1981. – №10. – С. 34 – 35.
4. Осадчук О. В. Частотний перетворювач на основі магнітотранзистора та активно-індуктивного елемента / О. В. Осадчук, О. О. Селецька, В. В. Мартинюк // ВОТТП – №3. – 2015. – С.91-95.
5. Осадчук О. В. Перетворювач магнітного поля на основі магнітодіода та активно-індуктивного елемента / О. В. Осадчук, О. М. Жагловська, В. В. Мартинюк // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – №1. – 2016 – С. 75-78.
6. Осадчук О. В. Мікроелектронний частотний перетворювач вологості з ємнісним вологочутливим елементом на основі стибій або бісмутвмісних діоксиматів ніколу (II) / О. В. Осадчук, Л. В. Крилик, М. В. Євсєєва, О. О Селецька //«Вісник» Хмельницького національного університету. Технічні науки. – № 1(233). – 2016. – С. 12 – 16..

References

1. Noviczkiy P.V. Cifrovye pribory` s chastotny`mi datchikami / P. V. Noviczkiy, V. H. Knoring, V. S. Gutnikov // L.: E`nergiya, 1970. – 424 s.
2. Osadchuk O.V. Mikroelektronni chastotni peretvoriuvachi na osnovi tranzystornykh struktur z vidiemnym oporom / O. V. Osadchuk –Vinnytsia: «Yuniversum-Vinnytsia», 2000. – 303 s.
3. Vikulin I. M. Dvukhkollektorny`e mahnitotranzistory` / I. M. Vikulin, M. A. Hlauberman, H. A. Ehiazarian // PiSU. – 1981. – №10. – S. 34 – 35.
4. Osadchuk O. V. Chastotnyi peretvoriuvach na osnovi magnitotranzystora ta aktyvno-induktyvnogo elementa / O. V. Osadchuk, O. O. Seletska, V. V. Martyniuk // VOTTP – №3. – 2015. – S. 91-95.
5. Osadchuk O. V. Peretvoryuvach mahnitnoho polya na osnovi mahnitodioda ta aktyvno-induktyvnogo elementa / O. V. Osadchuk, O. M. Zhahlovs'ka, V. V. Martyniuk // Yumiryuval'na ta obchyslyuval'na tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. – №1. – 2016 – S. 75-78.
6. Osadchuk O. V. Mikroelektronnyy chastotnyy peretvoryuvach volohosti z yemnisnym volohochutlyvym elementom na osnovi stybiy abo bismutvmsnykh dioksymativ nikolu (II) / O. V. Osadchuk, L. V. Krylyk, M. V. Yevsyeyeva, O. O Selets'ka //«Visnyk» Khmel'nyts'koho natsional'noho universytetu. Tekhnichni nauky. – № 1(233). – 2016. – S. 12 – 16.

Рецензія/Peer review : 10.1.2017 р.

Надрукована/Printed :7.3.2017 р.

Стаття рецензована редакційною колегією