

ПЕРЕТВОРЮВАЧ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ОСНОВІ МАГНІТОДІОДА 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 вольт-амперної характеристики приладу.

Ключові слова: магнітний перетворювач, біполярний транзистор, польовий транзистор, вольт-амперна характеристика.

O.V. OSADCHUK, O.M. ZHAGLOVSKA, V.V. MARTYNYUK
Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, Ukraine

MAGNETIC TRANSDUCER WITH A MAGNETODIODE 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 models of this production.

The mathematical model of frequency magnetic transducer composed of bipolar and mosfet transistors with diode as magnetosensitive element and an active inductive element has been developed. based on the analytical and graphical dependence of current-voltage characteristics of the device.

Keywords: magnetic transducer, bipolar transistor, field transistor, current-voltage characteristics.

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 вольт-амперної характеристики 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].

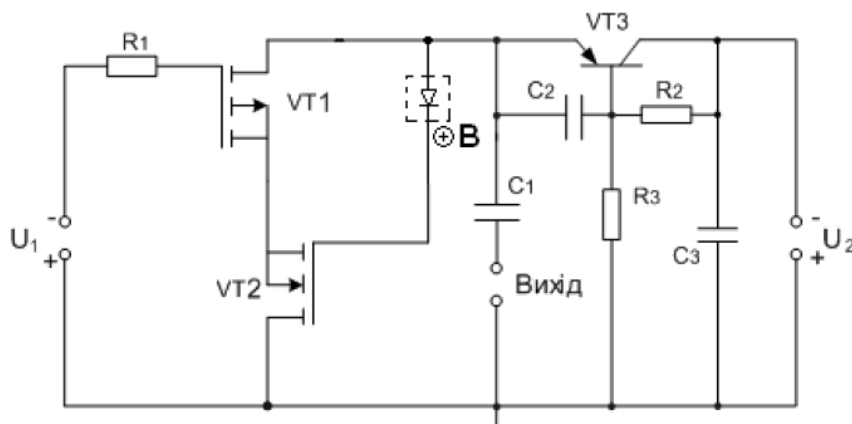


Рис. 1. Електрична схема приладу з магніодіодом та активно-індуктивним елементом

Для визначення ВАХ розглядається еквівалентна схема по постійному струму (рис. 2). Для зручності розрахунків на рис. 3 зображена перетворена еквівалентна схема приладу.

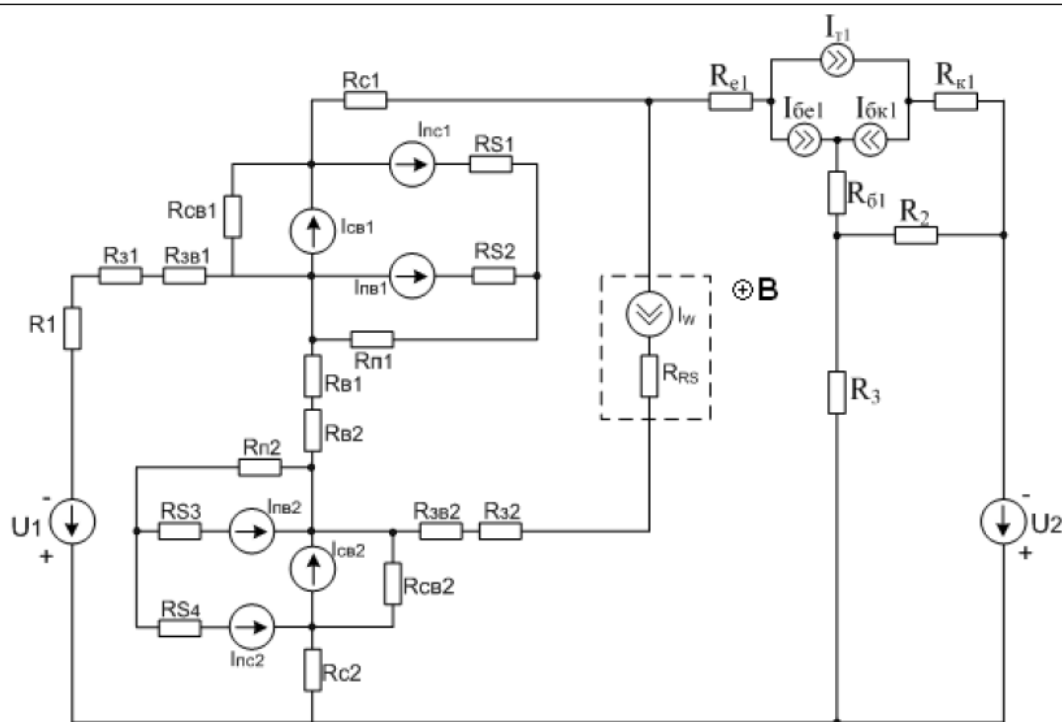


Рис. 2. Еквівалентна схема приладу з магнітодіодом та активно-індуктивним елементом по постійному струму

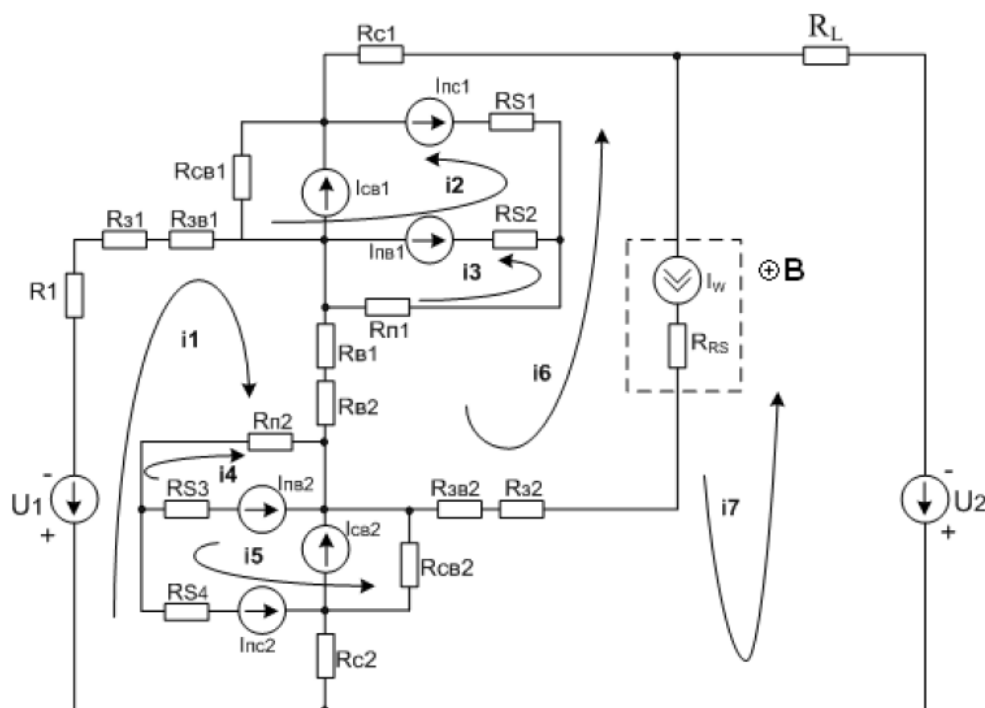


Рис. 3. Перетворена еквівалентна схема приладу з магнітодіодом та активно-індуктивним елементом по постійному струму

В еквівалентній схемі на рис. 3 використано такі позначення: R_1 – навантажувальний опір; R_3 – омичний опір електрода затвора; R_{3e} – опір між електродами затвора і виток; R_{ce} – опір стік-виток; R_c – опір р-п переходу стоку; R_e – опір р-п переходу виток; R_n – опір підкладки, R_{S1}, R_{S4} – об’ємні опори р-п переходу підкладка-стік, R_{S2}, R_{S3} – об’ємні опори р-п переходу підкладка-виток, R_L – опір індуктивності коливального контуру, R_{e1} – опір емітера біполярного транзистора $VT3$; R_{k1} – опір колектора транзистора $VT3$; R_{61} – опір бази транзистора $VT3$; I_{ce} – струм стік-виток, I_{ne} і I_{nc} – струм переходів підкладка-виток та підкладка-стік; R_L – опір активно-індуктивного елемента, показаного на рис. 4.

Струми біполярного транзистора $VT3$ I_{6e1} , I_{6k1} , I_{T1} визначаються за формулами (1), струми МДН-транзисторів $VT1$ та $VT2$ I_{ne} , I_{nc} , I_{ce} – за формулами (2) – (4).

$$I_{\delta e} = I_S (\exp(U_{\delta e} / (NF \cdot U_T)) - 1); \quad I_{\delta k} = I_S (\exp(U_{\delta k} / (NR \cdot U_T)) - 1);$$

$$I_T = \frac{I_{\delta e} - I_{\delta k}}{K Q_b}, \quad (1)$$

де I_S – струм насичення при температурі 27 °C;
 $U_T = kT / q$;
 $U_{\delta e}$ та $U_{\delta k}$ – напруги на переходах база-емітер та база-колектор;
 NF – коефіцієнт неідеальності в нормальному режимі;
 NR – коефіцієнт неідеальності в інверсному режимі.

$$I_{ne} = I_{ss} (\exp U_{ne} / (NU_i) - 1); \quad (2)$$

$$I_{nc} = I_{ss} (\exp U_{nc} / (NU_i) - 1), \quad (3)$$

де I_{ss} – струм насичення р-п переходу підкладки, U_{ne} – напруга підкладка-витік, U_{nc} – напруга підкладка-стік, N – коефіцієнт неідеальності переходу підкладка-стік, U_i – температурний потенціал р-п переходу.

Струм стоку в режимі насичення при $U_{ce} \geq (U_{\beta e} - U_T)$ описується формулою

$$I_{ce\beta e} = \frac{\mu \cdot C_0 \cdot W}{6L} \left(\frac{(U_{ce\beta e} + 2\varphi_B)^2 + U_{\beta e} (U_{ce\beta e} + 2\varphi_B) - 12\varphi_B (U_{\beta e} - \varphi_B - \frac{4}{3} K \varphi_B^{1/2})}{-12\varphi_B (U_{\beta e} - \varphi_B - \frac{4}{3} K \varphi_B^{1/2})} \right), \quad (4)$$

де

$$U_{ce\beta e} = U_{\beta e} - 2\varphi_B + K^2 \left(1 - (1 + 2U_{\beta e} / K^2)^{1/2} \right); \quad (5)$$

Відповідно до схеми на рис. 4 система рівнянь має вигляд:

$$\begin{cases} 0 = (R_{e1} + R_{\delta e1} + R_3)(i_1 - I_{\delta e1} + I_{\delta k1} + I_{T1}) + R_{\delta e1}(-i_2 - I_{\delta k1} - I_{T1} + I_{\delta e1}) - R_3 i_3, \\ 0 = (R_{k1} + R_{\delta k1} + R_2)(i_2 - I_{\delta e1} + I_{\delta k1} + I_{T1}) + R_{\delta k1}(-i_1 - I_{\delta k1} - I_{T1} + I_{\delta e1}) - R_2 i_3, \\ -U_2 = (R_3 + R_2)i_3 + R_3(-i_1 - I_{\delta k1} - I_{T1} + I_{\delta e1}) + R_2(-i_2 + I_{\delta e1} - I_{\delta k1} - I_{T1}). \end{cases} \quad (6)$$

На основі розв'язку системи рівнянь (6) опір R_L визначається як

$$R_L = \frac{U_2}{i_3} = \frac{U_2}{\frac{(R_{\delta e1} R_3 + a R_2)^2}{a^2 b - a R_{\delta e1}^2} - \frac{ac - R_3^2}{a}}, \quad (7)$$

де $a = R_{e1} + R_{\delta e1} + R_3$; $b = R_{k1} + R_{\delta k1} + R_2$; $c = R_3 + R_2$.

Для еквівалентної схеми (рис. 3) система рівнянь Кірхгофа має вигляд:

$$\begin{cases} -U_1 = A_1 \cdot (i_1 + I_{nc2}) + A_2 (i_6 - I_w) - R_{n2} i_4 + R_{S4} (i_5 + I_{nc2}) + R_{c2} i_7, \\ 0 = A_3 (i_2 - I_{nc1} + I_{ce1} + I_{ne1}) + R_{S2} (-i_3 + I_{ne1}) + R_{S1} (-i_6 - I_{nc1} + I_w), \\ 0 = A_4 (i_3 - I_{ne1}) + R_{S2} (-i_2 - I_{ne1}) + R_{n1} (-i_6 + I_w), \\ 0 = A_5 (i_4 - I_{ne2}) - R_{n2} i_1 + R_{S3} (i_5 - I_{ne2}), \\ 0 = A_6 (i_5 + I_{nc2} - I_{ce2} - I_{ne2}) + R_{ce2} (-i_7 - I_{ce2}) + R_{S4} (i_1 + I_{nc2}) + \\ + R_{S3} (i_4 - I_{ne2}), \\ 0 = A_7 (i_6 + I_{nc1} - I_w) - A_8 (i_7 + I_w) + R_{S1} (-i_2 + I_{nc1}) + \\ + R_{n1} (-i_3 + I_{ne1}) + A_2 i_1, \\ -U_2 = A_9 (i_7 + I_w + I_{ce2}) - A_8 i_6 + R_{ce2} (-i_5 + I_{ce2}) + R_{c2} (i_1 + I_{nc2}). \end{cases} \quad (8)$$

Для спрощення системи (8) введено наступні позначення:

$$A_1 = R_1 + R_{S1} + R_{\beta e1} + R_{e1} + R_{e2} + R_{n2} + R_{S4} + R_{c2}; \quad A_2 = R_{e1} + R_{e2}, \quad A_3 = R_{ce1} + R_{S1} + R_{S2},$$

$$A_4 = R_{n1} + R_{S2}, \quad A_5 = R_{n2} + R_{S3}, \quad A_6 = R_{ce2} + R_{S3} + R_{S4}, \quad A_7 = R_{\beta e2} + R_{\beta e2} + R_{RS} + R_{c1} + R_{S1} + R_{n1} + R_{e1} + R_{e2},$$

$$A_8 = R_{\beta e2} + R_{\beta e2} + R_{RS} + R_{c1} + R_{S1} + R_{n1} + R_{e1} + R_{e2}, \quad A_9 = R_{\beta e2} + R_{\beta e2} + R_{RS},$$

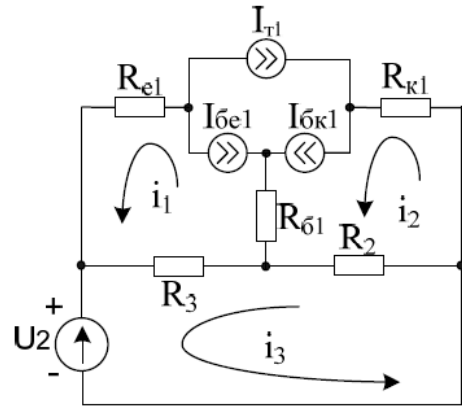


Рис. 4. Еквівалентна схема активно-індуктивного елемента по постійному струму

$$A_9 = R_L + R_{RS} + R_{3\sigma 2} + R_{32} + R_{ce1} + R_{c2}.$$

Аналітичний вигляд ВАХ для приладу на основі магнітодіода має вигляд:

$$I_{aux} = i_7 = \frac{-A_3 M_1 N_4 K_3 A_1 - R_{c2} R_{n2}^2 A_2 M_1 N_4 - D_1 K_3 M_2 N_4 A_1 + D_2 - D_3 + D_4 + D_5}{-A_9 M_2 N_4 K_3 A_1 + A_8 M_3 N_4 K_3 A_1 + D_6 + D_7 + D_8 + D_9 + D_{10}}, \quad (9)$$

На рис. 5 показані теоретичні та експериментальні ВАХ приладу на основі двох МДН-транзисторів р-типу та n-типу, біполярного транзистора.

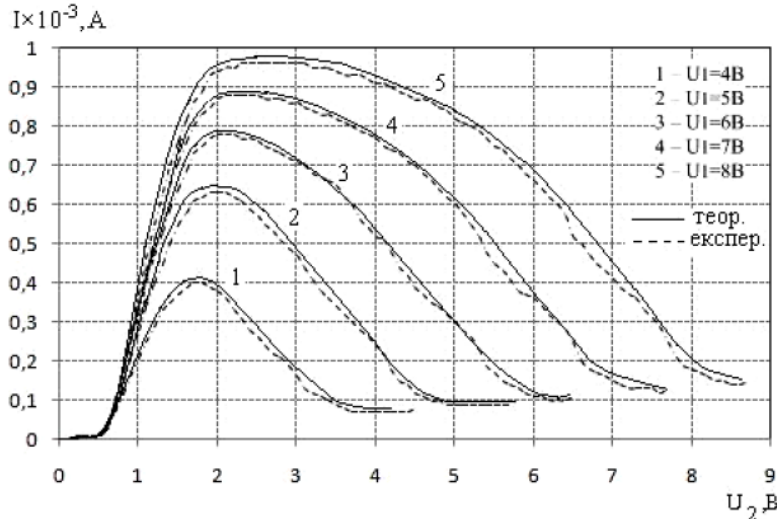


Рис. 5. Теоретичні та експериментальні ВАХ частотного перетворювача з магнітодіодом

Графік показує, що зі збільшенням напруги керування U_1 збільшується ділянка від'ємного опору. При $U_1 = 4B$ ділянка від'ємного опору по U_2 лежить в межах від 1,8 до 4 В, при $U_1 = 6B$ - від 2,2 до 6,5 В, при $U_1 = 8B$ - від 3,1 до 8,7 В.

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. Егназарян // 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. Ільченко О. М. Мікроелектронний перетворювач густини оптичної потужності на основі кремнієвих сонячних елементів / Осадчук В. С., Осадчук О. В., Ільченко О. М. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – №.2 – С. 151 – 157.

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 vidiennym 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. Il'chenko O. M. Mikroelektronnyy peretvoryuvach hustyny optychnoyi potuzhnosti na osnovi kremniyevykh sonyachnykh elementiv / Osadchuk V. S., Osadchuk O. V., Il'chenko O. M. // Visnyk Vinnyts'koho politekhnichnoho instytutu. – 2011. – №.2 – S. 151 – 157.

Рецензія/Peer review : 2.11.2015 р.

Надрукована/Printed :25.3.2016 р.