

УДК 681.38

В. С. Осадчук, д-р техн. наук, проф.;

О. В. Осадчук, д-р техн. наук, проф.

РАДІОВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ОСНОВІ СЕНСОРА ХОЛЛА

Показано можливість прямого перетворення індукції магнітного поля в частоту на основі гібридної інтегральної схеми автогенератора, який складається з біполярного та польового транзисторів і сенсора Холла. Отримано аналітичні залежності функції перетворення і рівняння чутливості. Теоретичні та експериментальні дослідження показали, що чутливість перетворювача складає $1,0 \dots 1,55$ кГц/мТ.

Вступ

Під час проектування нових радіовимірювальних приладів висувуються щораз більше зростаючі вимоги до їх діапазону вимірювання, точності, чутливості, швидкодії, потужності споживання, надійності тощо. Радіовимірювальні перетворювачі з частотним виходом мають низку переваг перед амплітудними, це полягає у значному підвищенні завадостійкості, що дозволяє збільшити точність вимірювання, а також у можливості одержання великих вихідних сигналів. Це створює передумови відмови від підсилювальних пристроїв у подальшій обробці сигналів. Використання частотного сигналу як інформативного дозволяє відмовитися від аналого-цифрових перетворювачів, що підвищує економічність вимірювальної апаратури.

В наш час ведуться інтенсивні дослідження з вивчення властивостей радіовимірювальних мікроелектронних перетворювачів [1, 2]. Разом з тим дослідження частотних перетворювачів магнітної індукції на основі МДН та біполярного транзисторів знаходиться в початковій стадії. Метою роботи є дослідження основних характеристик радіовимірювального перетворювача на основі транзисторної структури з від'ємним опором з магніточутливим елементом на основі сенсора Холла.

Теоретичні та експериментальні дослідження

Магніточутливими елементами в радіовимірювальних перетворювачах виступають магнітореzystори, сенсори Холла, магнітодіоди, біполярні і польові магнітотранзистори. Одним із перспективних напрямків у розробці вимірювальних перетворювачів магнітного поля є використання залежності реактивних властивостей і від'ємного опору напівпровідникових пристроїв від впливу магнітного поля і створення на цій основі мікроелектронних частотних перетворювачів магнітного поля [2, 3]. У пристроях такого типу відбувається перетворення магнітної індукції у частотний сигнал, що дозволяє створювати вимірювальні перетворювачі за інтегральною технологією і дає можливість підвищити точність, чутливість і швидкодію, розширити діапазон вимірюваних величин, поліпшити завадостійкість і надійність.

Схема радіовимірювального перетворювача магнітного поля показана на рис. 1. Вона являє собою гібридну інтегральну схему, яка складається з біполярного і польового транзисторів, опорів R1–R6, ємностей C1–C4, що дозволяє створити автогенераторний пристрій. Коливальний контур пристрою утворений на основі еквівалентної ємності повного опору на електротах стоку польового транзи-

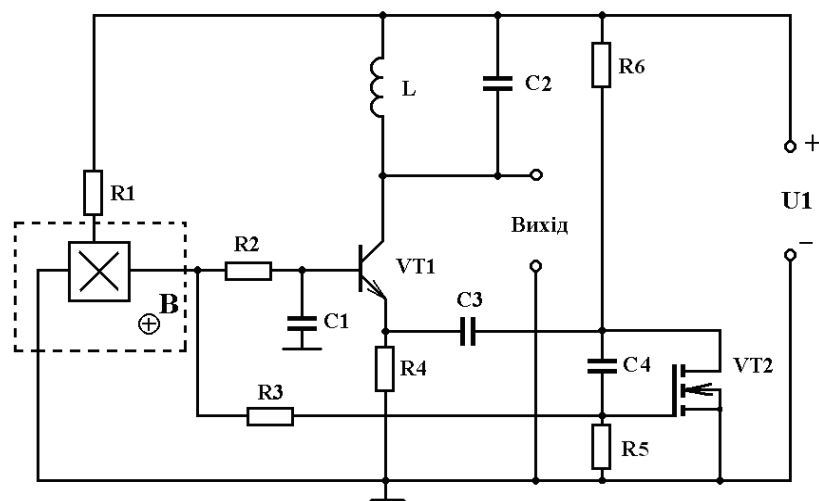


Рис. 1. Схема радіовимірювального перетворювача магнітного поля

стора VT2 і емітера біполярного транзистора VT1.

Розрахунок параметрів радіовимірювальних магнітних перетворювачів можливо зробити на основі еквівалентних схем, тому розглянемо еквівалентну схему перетворювача, яка містить елементи, що залежать від дії магнітного поля (рис. 2). Для зручності розрахунків перетворимо її у компактнішу (рис. 3).

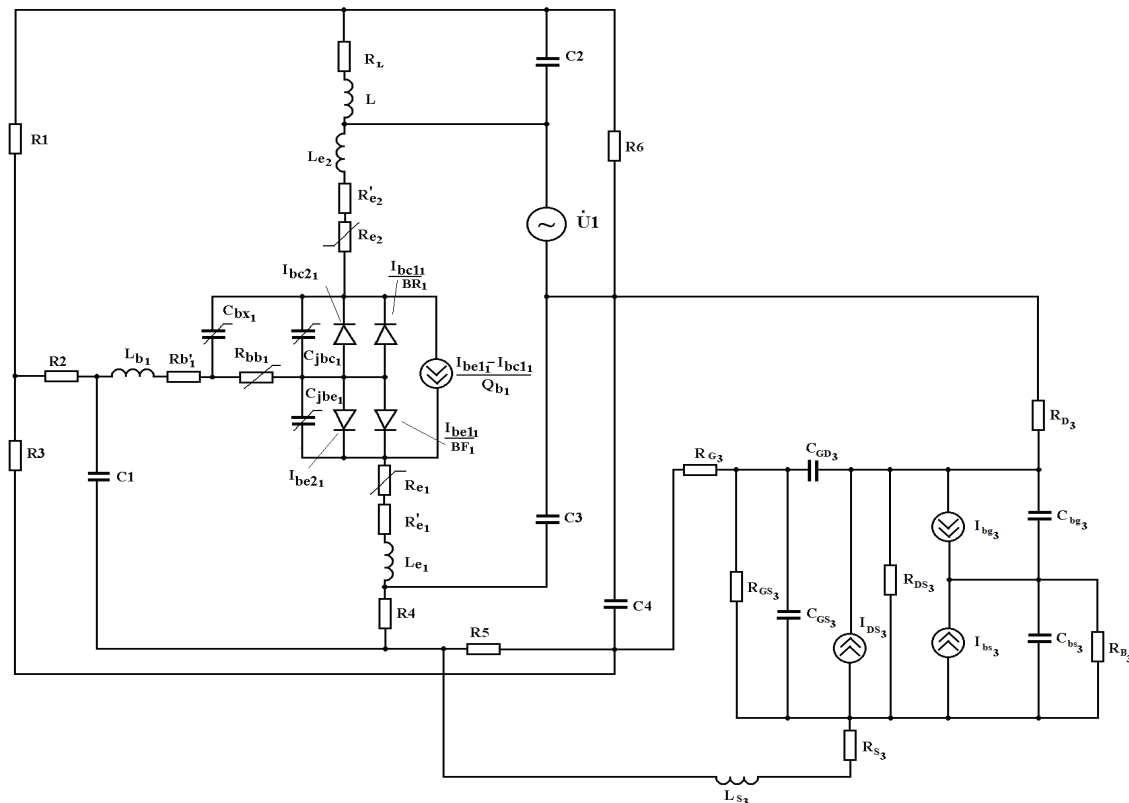


Рис. 2. Еквівалентна схема частотного магнітного перетворювача

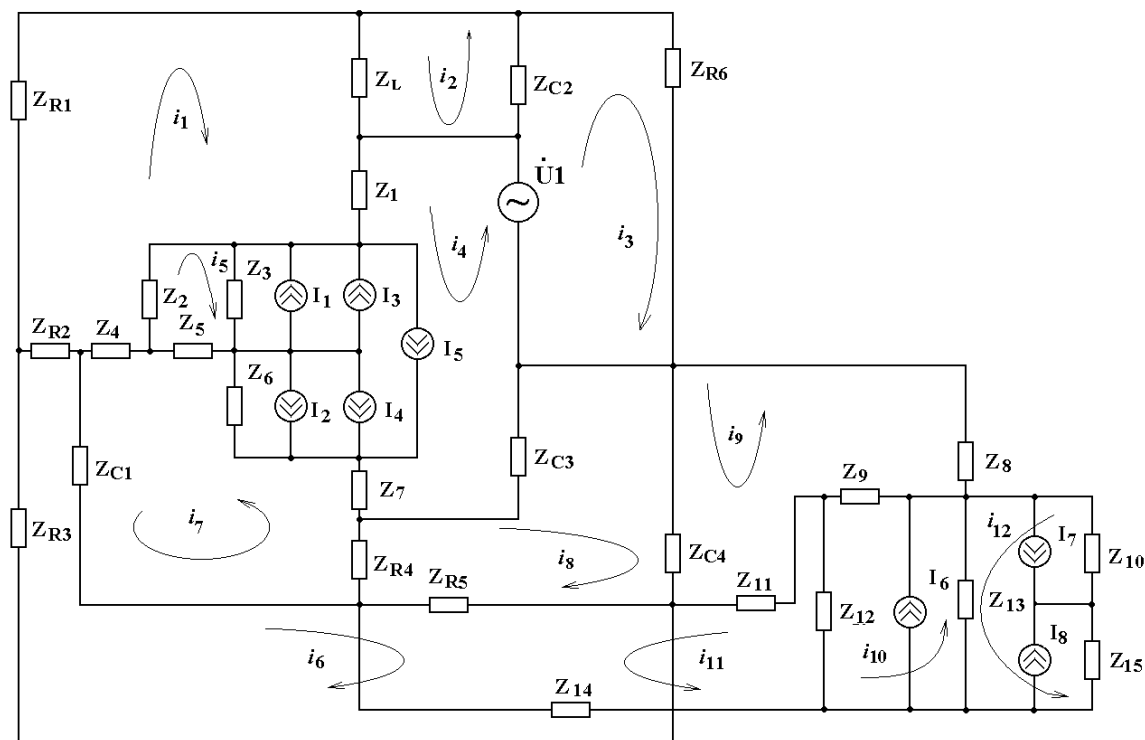


Рис. 3. Перетворена еквівалентна схема частотного магнітного перетворювача

Система рівнянь Кірхгофа, згідно з рис. 3, має вигляд

$$\left. \begin{aligned}
0 &= (Z_{R1} + Z_L + Z_1 + Z_2 + Z_4 + Z_{R2})i_1 + Z_L i_2 + Z_1 i_4 + Z_2 (I_1 + I_3 - I_5 - i_5) + Z_4 i_7 - Z_{R2} i_6; \\
0 &= (Z_L + Z_{C2})i_2 + Z_L i_1 + Z_{C2} i_2; \\
\dot{U}_1 &= (Z_{C2} + Z_{R6})i_3 + Z_{C2} i_2; \\
\dot{U}_1 &= (Z_1 + Z_3 + Z_6 + Z_7 + Z_{C3})i_4 + Z_1 i_1 + Z_3 (i_5 + I_1 + I_3 - I_2 - I_4 - I_5) + \\
&\quad + Z_6 (I_1 + I_3 - I_2 - I_4 - I_5 - i_7) - Z_7 i_7 + Z_{C3} i_8; \\
0 &= (Z_2 + Z_3 + Z_5)i_5 + Z_2 (I_5 - I_1 - I_3 - i_1) + Z_3 (I_1 + I_3 - I_5 + i_4) + Z_5 i_7, \\
0 &= (Z_{R2} + Z_{C1} + Z_{R5} + Z_{R3})i_6 + Z_{C1} i_7 - Z_{R2} i_1 - Z_{R5} i_8; \\
0 &= (Z_4 + Z_5 + Z_6 + Z_7 + Z_{R4} + Z_{C1})i_7 + Z_4 i_1 + Z_5 i_5 + Z_6 (I_2 + I_4 + I_5 - i_4) - Z_7 i_4 + Z_{R4} i_8 + Z_{C1} i_6; \\
0 &= (Z_{C3} + Z_{C4} + Z_{R5} + Z_{R4})i_8 + Z_{C3} i_4 - Z_{C4} i_9 + Z_{R5} (i_{11} - i_6) + Z_{R4} i_7; \\
0 &= (Z_{C4} + Z_{11} + Z_9 + Z_8)i_9 + Z_{C4} i_8 - Z_{11} i_{11} + Z_9 (i_{10} + I_6 + I_7 - I_8); \\
0 &= (Z_9 + Z_{13} + Z_{12})i_{10} + Z_{12} (I_6 - i_{11}) + Z_9 (I_6 - I_7 + I_8 - i_9) + Z_{13} (I_7 - I_8 - I_6 - i_{12}); \\
0 &= (Z_{R5} + Z_{11} + Z_{12} + Z_{14})i_{11} + Z_{R5} i_8 - Z_{11} i_9 + Z_{12} (i_{10} + I_6); \\
0 &= (Z_{10} + Z_{13} + Z_{15})i_{12} + Z_{10} (I_9 - I_8 - I_6) + Z_{13} (I_6 - I_7 + I_8 - i_{10}) + Z_{15} (I_7 - I_8 - I_6).
\end{aligned} \right\} ($$

1)

де $I_1 = I_{bc2}$; $I_2 = I_{be2}$; $I_3 = I_{bc1}/\beta_R$; $I_4 = I_{be1}/\beta_F$; $I_5 = (I_{be1} - I_{bc1})/Q$; $I_6 = I_{DS3}$; $I_7 = I_{BG3}$; $I_8 = I_{BS3}$; $Z_{R1} = R_1$; $Z_{R2} = R_2$; $Z_{R3} = R_3$; $Z_{R4} = R_4$; $Z_{R5} = R_5$; $Z_{R6} = R_6$; $Z_L = R_L + j\omega L$; $Z_{C1} = -j/\omega C_1$; $Z_{C2} = -j/\omega C_2$; $Z_{C3} = -j/\omega C_3$; $Z_{C4} = -j/\omega C_4$; $Z_1 = R'_c + R_c + j\omega L_c$; $Z_2 = -j/\omega C'_{bx}$; $Z_3 = -j/\omega C_{jbc}$; $Z_4 = R'_b + j\omega L_b$; $Z_5 = R_{bb}$; $Z_6 = -j/\omega C_{jbe}$; $Z_7 = R'_e + R_e + j\omega L_e$; $Z_8 = R_{D1}$; $Z_9 = -j/(\omega C_{GD1})$; $Z_{10} = -j/(\omega C_{BD1})$; $Z_{11} = R_{G1}$;

$$Z_{12} = \frac{R_{GS1}}{1 + \omega^2 R_{GS1}^2 C_{GS1}^2} - j \frac{R_{GS1} \omega C_{GS1}}{1 + \omega^2 R_{GS1}^2 C_{GS1}^2}; \quad Z_{15} = \frac{R_{B1}}{1 + \omega^2 R_{B1}^2 C_{BS1}^2} - j \frac{R_{B1} \omega C_{BS1}}{1 + \omega^2 R_{B1}^2 C_{BS1}^2};$$

$$Z_{13} = R_{DS1}; \quad Z_{14} = R_{S1} + j\omega L_{S1}.$$

Значення параметрів елементів еквівалентної схеми (див. рис. 3) для теоретичних розрахунків отримано з робіт [3—5]. Розв'язання системи рівнянь (1) проведено чисельним методом на персональному комп'ютері.

Перейдемо до розрахунку функції перетворення, тобто залежності частоти генерації від індукції магнітного поля. Для цих цілей скористаємося нелінійною еквівалентною схемою перетворювача (див. рис. 2). Виходячи із цієї схеми і теорії стійкості Ляпунова [6], отримає функцію перетворення

$$F_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C_{be}(B) + C_{bc}(B)}{C_{bc}(B)C_{be}(B)}L}. \quad (2)$$

Чутливість магнітного радіовимірювального перетворювача визначається на основі (2):

$$S_B = \frac{1}{4} \left(\frac{\left(\frac{\partial C_{be}(B)}{\partial B} + \frac{\partial C_{bc}(B)}{\partial B} \right) (C_{bc}(B) + C_{be}(B))}{C_{bc}(B)C_{be}(B)L} - \frac{\left(\frac{\partial C_{be}(B)}{\partial B} \right) (C_{bc}(B) + C_{be}(B))}{C_{be}^2(B)C_{bc}(B)L} - \frac{\left(\frac{\partial C_{bc}(B)}{\partial B} \right) (C_{bc}(B) + C_{be}(B))}{C_{be}(B)C_{bc}^2(B)L} \right) \left/ \left(\pi \sqrt{\frac{C_{bc}(B) + C_{be}(B)}{C_{bc}(B)C_{be}(B)}L} \right) \right. \quad (3)$$

де $C_{be}(B)$, $C_{bc}(B)$ — складові ємності коливального контуру, які визначаються ємністю

складовою повного опору на електродах стік-емітер транзисторів VT1 і VT2; L — індуктивність коливального контуру.

Теоретична і експериментальна залежності частоти генерації від магнітної індукції подані на рис. 4. Залежність чутливості радіовимірювального перетворювача від магнітної індукції наведена на рис. 5. Розбіжність теоретичних і експериментальних досліджень складає $\pm 5\%$.

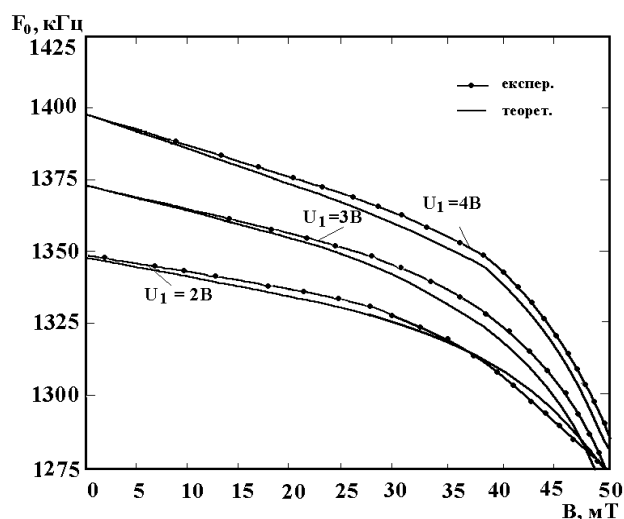


Рис. 4. Теоретичні і експериментальні залежності частоти генерації від магнітної індукції

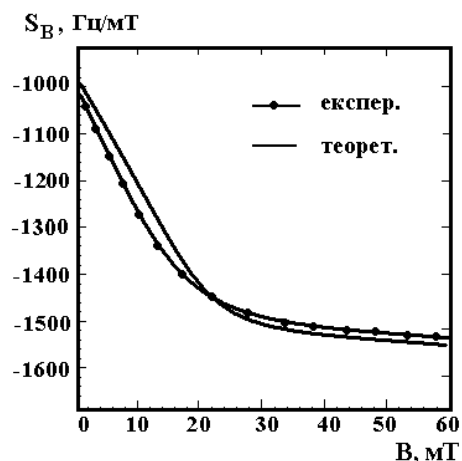


Рис. 5. Залежність чутливості перетворювача від магнітної індукції

Експериментальні дослідження проводились за стандартною методикою [7]. Величина магнітної індукції вимірювались за допомогою приладу типу Щ4310.

Як видно з графіка, найбільша чутливість приладу лежить у діапазоні від 1 мТ до 60 мТ і складає 1000...1550 Гц/мТ.

Висновки

Показана можливість прямого перетворення індукції магнітного поля в частоту на основі гібридної інтегральної схеми автогенератора, який складається з біполярного та польового транзисторів і сенсора Холла. Отримано аналітичні залежності функції перетворення і рівняння чутливості. Теоретичні та експериментальні дослідження показали, що чутливість перетворювача складає 1,0...1,55 кГц/мТ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Балтес Г. П. Интегральные полупроводниковые датчики магнитного поля / Г. П. Балтес, Р. С. Попович // ТИИЭР. — 1986. — Т. 74, № 8. — С. 60—90.
2. Мікроелектронні сенсори фізичних величин / за ред. З. Ю. Готри. В 3 томах. — Львів : Ліга-Прес, 2003. Т. 2. — 2003. — 595 с.
3. Осадчук О. В. Мікроелектронні частотні перетворювачі на основі транзисторних структур з від'ємним опором. — Вінниця : УНІВЕРСУМ—Вінниця, 2000. — 303 с.
4. Осадчук В. С. Реактивні властивості транзисторів і транзисторних схем / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук. — Вінниця : «УНІВЕРСУМ—Вінниця», 1999. — 275 с.
5. Осадчук О. В. Мікроелектронний частотний магнітний перетворювач з активним індуктивним елементом / О. В. Осадчук // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Автоматика, вимірювання та керування. — 2001. — № 420. — С. 66—72.
6. Каяцкас А. А. Основы радиоэлектроники / А. А. Каяцкас. — М. : Высшая школа, 1988. — 464 с.
7. Электрические измерения / Под редакцией Е. Г. Шрамкова. — М. : Высшая школа, 1972. — 518 с.

Рекомендована кафедрою радіотехніки

Стаття надійшла до редакції 25.02.11

Рекомендована до друку 21.03.11

Осадчук Володимир Степанович — професор кафедри електроніки.

Осадчук Олександр Володимирович — завідувач кафедри радіотехніки.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця