

УДК 621.383

ЧАСТОТНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ МАГНІТНОГО ПОЛЯ**Осадчук В.С. д.т.н., проф., Осадчук О.В. д.т.н., проф.**Вінницький національний технічний університет (Україна), Тел.(0432)59-84-81,
E-mail: osadchuk69@mail.ru

Annotation. In article research a transducer of magnetic field in a frequency signal are represented on the basis of a hybrid integrated circuit, which consists of two bipolar and MOSFET transistors, one of which together with RC-circuit implements an active inductive element of a tuning circuit of a transducer. The analytical expressions of function of conversion and equation of sensitivity are obtained. The theoretical and experimental research has shown, that the sensitivity of a transducer makes 300-900 Hz/mT.

Вступ

Перетворювачі з частотним виходом мають ряд переваг перед амплітудними, які містяться у значному підвищенні завадостійкості, що підвищує точність вимірювання, а також уможливує отримання великих вихідних сигналів. Це дозволяє відмовитись від підсилювальних пристроїв у подальшій обробці сигналів. Використання частотного сигналу в якості інформативного дає можливість відказатись від аналого-цифрових перетворювачів, що підвищує економічність вимірювальної апаратури [1].

На теперішній час проводяться інтенсивні дослідження з вивчення властивостей аналогових перетворювачів [2, 3], проте дослідження частотних перетворювачів магнітного поля на основі реактивних властивостей біполярних 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.

Теоретичні та експериментальні дослідження частотного перетворювача магнітного поля

Електрична схема перетворювача подана на рис.1. Вона являє собою гібридну інтегральну схему, яка складається з двох біполярних і одного польового транзисторів, опорів R_1 - R_8 , ємностей C_1 - C_3 , що дозволяє створити автогенераторний пристрій. Коливальний контур пристрою утворений на основі еквівалентної ємності повного опору на електродах стоку польового двозатворного транзистора VT1 і колектор біполярного транзистора VT2 та активної індуктивності на основі біполярного транзистора VT3 з фазосуваючим колом R_8C_2 [4].

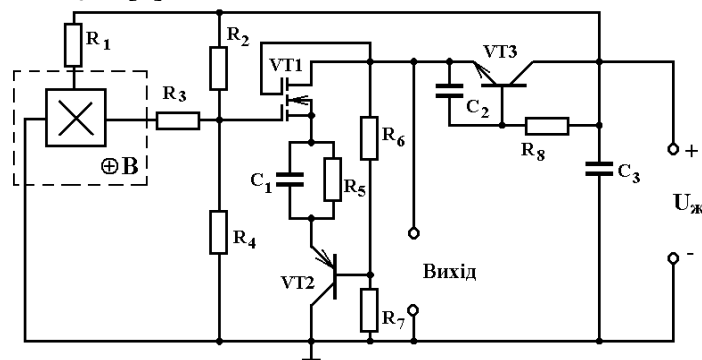


Рис.1. Електрична схема частотного перетворювача магнітного поля

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 [5-7].

Розглянемо фізичний механізм роботи активного індуктивного елемента на основі біполярного транзистора VT3 і фазосуваючого кола R_8C_2 . Виникнення індуктивних властивостей в біполярних структурах зв'язано з кінцевою швидкістю руху носіїв заряду у базовій області. Сигнал, прикладений до емітера, не може з'явитися на колекторному переході доки носії заряду проходять базу, у результаті чого утворюється затримка у часі, яка отримала назву часу прольоту.

Таким чином, струм колектора запізнюється у часі від напруги на емітері, яка викликала цей струм, що відповідає індуктивній реакції на електродах емітер-колектор біполярного транзистора. Величина індуктивності і добротності визначається на основі нелінійної моделі індуктивного транзистора, яка витікає з моделі Еберса-Молла. Вихідними даними для даної моделі є система основних рівнянь, які описують поведінку носіїв заряду у напівпровідниковому матеріалі, а також математичні співвідношення, які характеризують поведінку р-п переходів. Індуктивність теоретичної моделі залежить від електрофізичних параметрів напівпровідникового матеріалу бази, режимів живлення транзистора по постійній і змінній напрузі, а також від геометричних розмірів транзистора. Це дозволяє керувати індуктивністю і добротністю як електричним, так і технологічним шляхами. Зовнішні параметри транзистора, які безпосередньо не пов'язані з процесами переносу носіїв заряду, таких як бар'єрні ємності емітерного і колекторного переходів, омичний опір базової області, індуктивності виводів суттєво впливають на величину індуктивності, яка виникає у процесі переносу носіїв заряду у базовій області. Включення зовнішнього кола R_8C_2 до транзистора VT3 дозволяє збільшити як індуктивність, так і добротність активного індуктивного елемента з одного боку, а з другого – повністю реалізувати як активний індуктивний елемент, так і весь пристрій за інтегральною технологією.

Величина індуктивності активного елемента описується виразом

$$L = \frac{1}{\omega} \cdot \frac{A_4 A_1 - A_3 A_2}{A_1^2 + A_2^2}, \quad (1)$$

де

$$A_1 = \omega C_2 \left[(r_B + r_E - R_8 \alpha_1)^2 - (R_8 \alpha_2)^2 + \frac{1}{(\omega C_2)^2} \right], \quad A_4 = \left[2R_8^2 \alpha_1 \alpha_2 - (r_B + r_E) R_8 \alpha_2 + \frac{2R_8^3}{r_K} \alpha_2 \right],$$

$$A_2 = \omega C_2 [2R_8 \alpha_2 (r_B + r_E - R_8 \alpha_1)], \quad A_3 = \left[R_8 \alpha_1 (r_B + r_E - R_8) + (r_B + r_E) \frac{R_8^2}{r_K} - \frac{2\alpha_1 R_8^3}{r_K} + \frac{R_8^2 \alpha_2^2}{(\omega C_2)^2} \right],$$

$\alpha_1 = \frac{\alpha_0}{1 + (f/f_\alpha)^2}$ - дійсна складова коефіцієнта передачі струму у схемі з загальною ба-

зою, $\alpha_2 = \frac{\alpha_0 f / f_\alpha}{1 + (f/f_\alpha)^2}$ - уявна складова коефіцієнта передачі струму у схемі з загальною

базою, r_B, r_K, r_E - відповідно опір бази, колектора і емітера транзистора VT3, f_α - гранична частота біполярного транзистора в схемі із загальною базою, f - робоча частота, $\omega = 2\pi f$ - кругова частота.

Добротність активного індуктивного елемента визначається за формулою

$$Q = \frac{(A_4 A_1 - A_3 A_2) \omega C_2}{\omega C_2 (A_3 A_1 + A_4 A_2) - (A_1^2 + A_2^2)} \quad (2)$$

Опори ($R_1 - R_8$) здійснюють живлення автогенераторного пристрою з допомогою джерела постійної напруги. Електричне коло $R_5 C_1$ здійснюють термостабілізацію вимірювального пристрою. Ємність C_3 запобігає проходженню змінного струму через джерело постійної напруги. Вольт-амперна характеристика на вихідних клеммах, яка розраховується на основі еквівалентної схеми перетворювача, має спадаючу ділянку, що відповідає існуванню від'ємного опору.

Згідно методу стійкості Ляпунова, виходячи з еквівалентної схеми перетворювача, визначена функція перетворення, яка є залежністю частоти генерації від магнітної індукції. Аналітична залежність функції перетворення має вигляд

$$F_0 = \frac{1}{2\pi |R_g(B)| C(B)} \left[\frac{R_g^2(B) C(B)}{L} - 1 \right]^{1/2}, \quad (3)$$

де $R_g(B)$ – активна складова повного опору на електродах стік-колектор польового транзистора VT1 і біполярного транзистора VT2, яка має від'ємне значення; $C(B)$ – ємність коливального контуру, яка визначається ємнісною складовою повного опору на електродах стік-колектор транзисторів VT1 і VT2; L – активна індуктивність, яка визначається виразом (1).

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

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

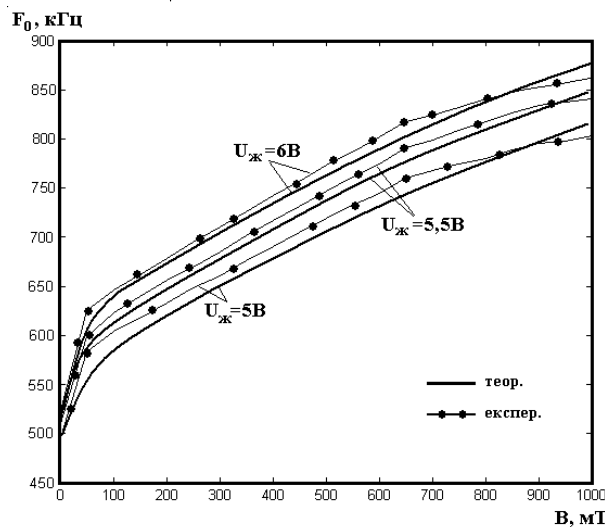


Рис.2. Залежності частоти генерації від індукції магнітного поля

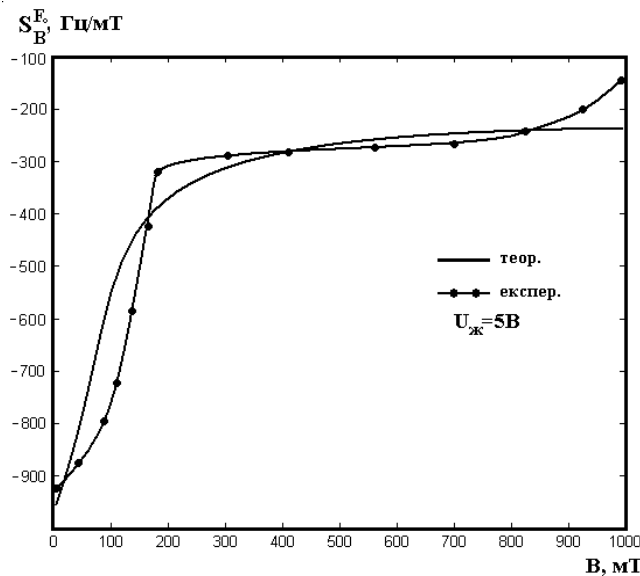


Рис.3. Залежності чутливості перетворювача від індукції магнітного поля

Графік залежності чутливості перетворювача магнітного поля з частотним виходом подано на рис.3. Як видно з графіка, найбільша чутливість приладу лежить у діапазоні від 1 мТ до 150 мТ і складає 300 – 900 Гц/мТ.

Висновки

Показана можливість перетворення магнітної індукції у частотний сигнал на основі гібридної інтегральної схеми, яка складається з двох біполярних і польового транзисторів, а також магніточутливого елемента Холла. Отримані аналітичні залежності функції перетворення та рівняння чутливості. Теоретичні та експериментальні дослідження показали, що чутливість розробленого перетворювача магнітного поля складає 300 Гц/мТ.

Література

- 1.Осадчук О.В. Мікроелектронні частотні перетворювачі на основі транзисторних структур з від'ємним опором. – Вінниця: «УНІВЕРСУМ – Вінниця», 2000. – 303 с.
2. Мікроелектронні сенсорні пристрої магнітного поля / За редакцією З.Ю. Готри. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2001.–412с.
3. Гуменюк С.В., Подлепецкий Б.И. Интегральные полупроводниковые магниточувствительные датчики //Зарубежная электронная техника. –1989. –№12(343). –С.3-47.
4. Осадчук В.С., Осадчук О.В. Реактивні властивості транзисторів і транзисторних схем. – Вінниця: «УНІВЕРСУМ – Вінниця», 1999. – 275 с.
5. Осадчук О.В. Мікроелектронний частотний магнітний перетворювач з активним індуктивним елементом // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Автоматика, вимірювання та керування. –2001. –№420. – С.66-72.
6. Осадчук В.С., Осадчук О.В. Сенсори тиску і магнітного поля. – Вінниця: «УНІВЕРСУМ-Вінниця», 2005. – 207 с.
7. Пат. №41013 А України, МКИ Н01L 29/82. Мікроелектронний вимірювач магнітної індукції / Осадчук В.С., Осадчук О.В. - №2001010065; Заявлено 03.01.2001; Опубл. 15.08.2001. Бюл. №7. – 2 с.