

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ІНДУКЦІЇ МАГНІТНОГО ПОЛЯ З ПІДВИЩЕНОЮ ЛІНІЙНІСТЮ ФУНКЦІЇ ПЕРЕТВОРЕННЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація.

Розроблено пристрій для вимірювання індукції магнітного поля, який складається з двоколекторного біполярного магніотранзистора та частотного перетворювача на основі двох біполярних та польового транзисторів. На основі математичного моделювання електричних характеристик розробки отримано аналітичний вираз для функції перетворення та рівняння чутливості.

Ключові слова: пристрій для вимірювання індукції магнітного поля, частотний перетворювач, магніотранзистор, функція перетворення, рівняння чутливості.

Abstract.

A device for measuring magnetic field induction has been developed, which consists of a two-collector bipolar magnetotransistor and a frequency converter based on two bipolar and field-effect transistors. Based on the mathematical modeling of the electrical characteristics of the development, an analytical expression for the transformation function and the sensitivity equation is obtained.

Keywords: device for measuring magnetic field induction, frequency converter, magnetotransistor, conversion function, sensitivity equation.

Вступ

Вимірювання індукції магнітного поля як характеристики магнітного поля є однією з найважливіших задач в області створення і забезпечення функціонування систем навігації, орієнтації і стабілізації; екранування квантових комп'ютерів, магнітної томографії, дефектоскопії і неруйнівного контролю виробів, а також реалізації систем безпеки і охорони різних об'єктів. Засоби вимірювання магнітного поля високої точності використовуються також для пошуку і виявлення магнітних аномалій в космосі, в повітряному, підводному, надводному та підземному середовищах, при геофізичній і геологічному моніторингу, вимірюванні великих струмів і т.д. Одним із основних складових вимірювальних пристроїв є сенсор, який може складатися з двох ключових елементів: чутливий елемент і спеціальна схема обробки вихідного сигналу чутливого елемента (перетворювач, буферний каскад), що залежить від специфіки застосування пристрою.

Виходячи з вище сказаного, перспективним науковим напрямком є розробка та створення пристроїв вимірювання індукції магнітного поля в яких використовуються напівпровідникові сенсори з автогенераторними частотними перетворювачами.

Теоретичні та експериментальні дослідження

Відомо, що чутливість пристроїв для вимірювання індукції магнітного поля залежить насамперед від чутливих елементів, конструктивного рішення, принципу дії та технології виготовлення [1, 2].

Метою дослідження є розробка пристрою з частотним виходом для вимірювання індукції магнітного поля на основі напівпровідникових структур з диференційним опором (рис. 1).

Схема складається з двоколекторного магніточутливого транзистора (сенсор магнітного поля) польового двозатворного транзистора і двох біполярних транзисторів (вони створюють автогенераторний прилад, частота генерації якого змінюється в залежності від напруги на колекторі VT1). Транзистор VT4, конденсатор C1 та резистор R11 утворюють активну індуктивність частотного перетворювача. Реалізація активної індуктивності може бути виконана в інтегральному виконанні, що відповідає сучасному технологічному процесі виготовлення інтегральних мікросхем [3].

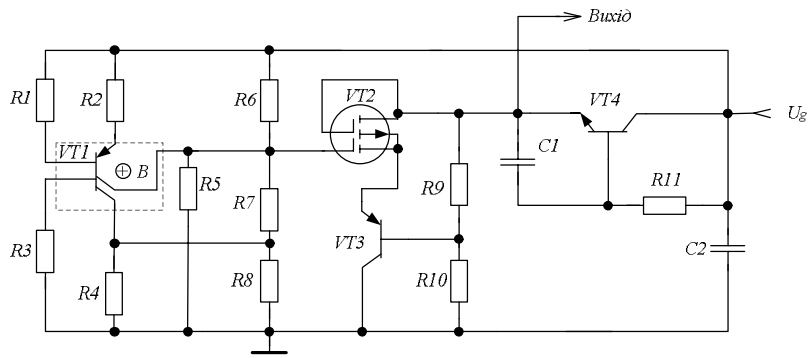


Рис. 1. Електрична схема пристрою для вимірювання індукції магнітного поля

Отримана функція перетворення пристрою має такий вигляд

$$F_0 = \frac{1}{2\rho} \sqrt{\frac{A_1 + \sqrt{A_1^2 + 4L_{екв} C_{GD} A_2^2}}{2L_{екв} C_{GD} A_2^2}},$$

де $A_1 = L_{екв} C_{GD} - A_2^2 - C_{GD} A_2 R_B(B)$;

$A_2 = C_B(B) R_B(B)$;

$L_{екв}$ – еквівалентна індуктивність транзисторного аналога індуктивності;

$C_B(B)$ – еквівалентна ємність області бази біполярного двоколекторного магнітотранзистора;

$R_B(B)$ – еквівалентний опір області бази біполярного двоколекторного магнітотранзистора;

C_{GD} – ємність області затвор-витік МДН транзистора.

Для теоретичної функції перетворення радіовимірювального перетворювача індукції магнітного поля при напрузі живлення 5В, проведемо її лінійаризацію [4]. Розіб'ємо діапазон вимірювання на два піддіапазони: від 0 до 0,3 Т; 0,3 – 1 Т. Використовуючи математичний пакет MathCad отримаємо наступні вирази для функції перетворення в піддіапазонах: $f_1(B) = 0,35B + 840$; $f_2(B) = 0,15B + 905$. Графік функції перетворення пристрою та апроксимовані прямі в піддіапазонах наведено на рис. 2.

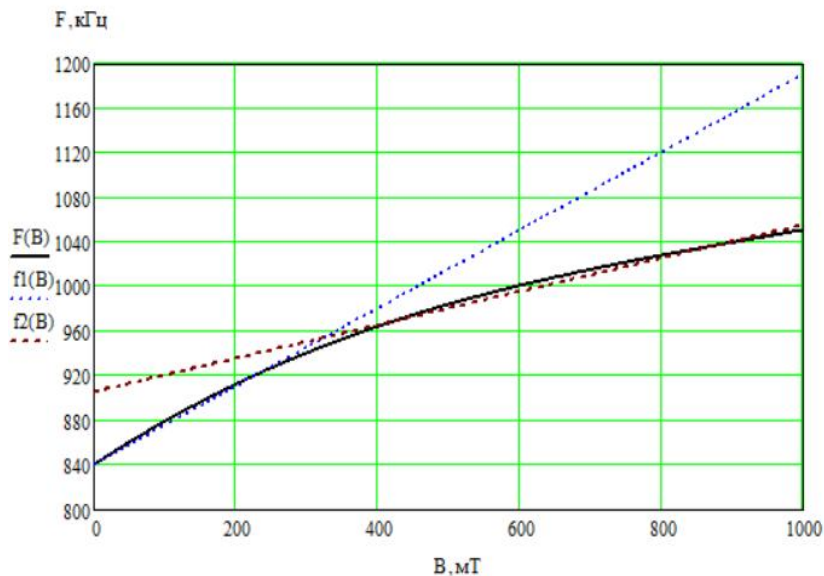


Рис. 2. Графіки теоретичної функції перетворення та прямих її лінійаризації в піддіапазонах.

Використовуючи математичний пакет MathCad отримаємо наступні вирази для функції перетворення в піддіапазонах: $f_1(B) = 0,35B + 840$; $f_2(B) = 0,15B + 905$.

Таким чином при лінійаризації функції перетворення ми отримуємо наступні значення чутливості в піддіапазонах:

0-0,3 Т: $S_1(B) = 350 \text{ Гц/мТл}$;

0,3-1 Т: $S_2(B) = 150 \text{ Гц/мТл}$.

Проведемо розрахунок максимальної похибки нелінійності для кожного піддіапазону за формулою: $g_H = D_{\max} / |f_B - f_H|$, де D_{\max} - максимальне відхилення функції перетворення від статичної характеристики, f_B, f_H - значення функції перетворення в кінці та на початку піддіапазону. Підставляючи чисельні значення отримаємо для кожного піддіапазону: $g_{H1} = 0,018$; $g_{H2} = 0,047$.

Зменшити похибку нелінійності ми можемо за рахунок розбиття на більшу кількість піддіапазонів. Але в кожному конкретному випадку потрібно визначати, чи доцільно це робити.

Висновки

Розроблено пристрій для вимірювання індукції магнітного з двоколекторним біполярним магнітотранзистором. Проведено математичне моделювання пристрою, на основі якого визначені аналітичні вирази функції перетворення та рівняння чутливості. Експериментально встановлено, що при зміні індукції магнітного поля в діапазоні 0 мТл ... 1000 мТл, отримано зміну частоти вихідного сигналу в діапазоні 900 кГц ... 1065 кГц. Даний пристрій має найменшу нелінійну похибку 1,8% у порівнянні з іншими пристроями, які були досліджені в [5].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Igor V. Minin. Microsensors / Igor V. Minin, Oleg V. Minin – India, Croatia: InTech, 2011. - 306 p.
2. Мікроелектронні сенсори магнітного поля з частотним виходом: монографія / [В.С. Осадчук, О.В. Осадчук]; під ред. В.С. Осадчука, О.В. Осадчука. – Вінниця: ВНТУ, 2013. – 254 с.
3. Осадчук О. В., Пritула М.О., Коваль К. О. Радіовимірювальний перетворювач магнітного поля на транзисторній структурі. Науковий журнал «Радіоелектроніка, інформатика, управління». – №2, 2016. – С. 15–19.
4. Володарський Є.Т., Кухарчук В.В., Поджаренко В.О., Сердюк Г.Б. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю. Навчальний посібник. – Вінниця: ВДТУ, 2001.- 219 с.
5. Осадчук О. В., Пritула М.О., Коваль К. О., Семенов А.О. Comparative Analysis of Radiomeasuring Frequency Converters of the Magnetic Field. Тези доповіді Міжнародної конференції TCSET'2016 «Modern problems of radio engineering, telecommunications, and computer science. TCSET2016», Lviv-Slavske, Ukraine, February 23 – 26, 2016. – С. 275–278

Осадчук Олександр Володимирович – д.т.н., професор, завідувач кафедри радіотехніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: osadchuk.av69@gmail.com

Пritула Максим Олександрович – к.т.н., старший викладач кафедри радіотехніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: pritulamo@ukr.net

Osadchuk Oleksandr Volodymyrovych - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Radio Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: osadchuk.av69@gmail.com

Prytula Maksym Oleksandrovych - Ph.D., Senior Lecturer of the Department of Radio Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: pritulamo@ukr.net