

РАДИОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Осадчук В.С., д.т.н., проф., Осадчук А.В., д.т.н., проф.
Винницкий национальный технический университет (Украина)
Тел. (0432) 59-84-81, E-mail: osadchuk69@mail.ru

Анотація. У статті представлені дослідження гібридної інтегральної схеми радіовимірювального перетворювача магнітного поля на основі транзисторної структури з від'ємним опором, під який є автогенераторним пристроєм, частота якого залежить від індукції магнітного поля. Отримано аналітичні залежності функції перетворення. Теоретичні й експериментальні дослідження показали, що чутливість пристрою становить 2 - 34 кГц/мТ.

Аннотация. В статье представлены исследования гибридной интегральной схемы радиоизмерительного преобразователя магнитного поля на основе транзисторной структуры с отрицательным сопротивлением, который представляет автогенераторное устройство, частота которого зависит от индукции магнитного поля. Получены аналитические зависимости функции преобразования. Теоретические и экспериментальные исследования показали, что чувствительность устройства составляет 2 - 34 кГц/мТ.

Annotation. In article the hybrid integrated circuit of radiomeasurement is offered on the basis of transistor structure with negative resistance which realizes the autogenerating device which frequency of generation depends on magnetic field. Analytical dependences of function of transformation are received. Theoretical and experimental researches have shown, that sensitivity of device makes 2 - 34 kHz/mT.

Ключевые слова. Радиоизмерительный преобразователь магнитного поля, отрицательное сопротивление, реактивные свойства транзисторных структур.

Одним из перспективных научных направлений в разработке радиоизмерительных преобразователей, предложенных в работе, является использование зависимости реактивных свойств и отрицательного сопротивления полупроводниковых приборов от влияния внешних физических величин и создания на этой основе нового класса радиоизмерительных микросистем преобразователей магнитного поля. В устройствах такого типа происходит преобразование магнитной индукции в частотный сигнал, что позволяет создавать радиоизмерительные преобразователи по интегральной технологии и дает возможность повысить быстродействие, точность и чувствительность, расширить диапазон измеряемых величин, улучшить надежность, помехоустойчивость и долговременную стабильность параметров [1-3].

Улучшение параметров магнитного преобразователя возможно, на основе

схемы преобразователя с активным индуктивным элементом. Электрическая схема преобразователя приведена на рис.1. Она представляет собой гибридную интегральную схему, состоящая из трех биполярных транзисторов с различными типами проводимости, которые образуют автогенераторное устройство, в цепь обратной положительной связи которого включен магниточувствительный диод.

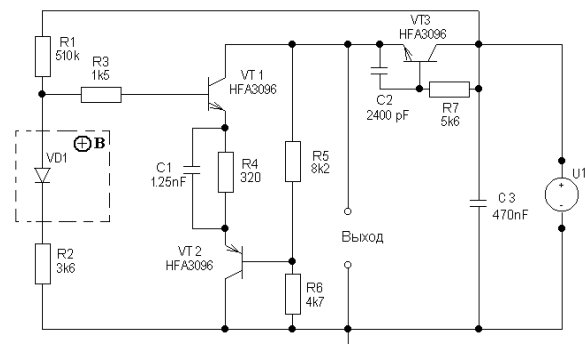


Рис.1. Электрическая схема частотного радиоизмерительного преобразователя магнитной индукции

На электродах коллектор-коллектор транзисторов VT1 и VT2 существует полное сопротивление, активная составляющая которого имеет отрицательное значение, а реактивная – емкостный характер. Подключение активной индуктивности на основе транзистора VT3 и последовательной C_2R_7 - цепи к коллектору VT1 создает колебательный контур, потери энергии в котором компенсируются отрицательным сопротивлением. Таким образом, резонансная частота колебательного контура зависит от действия магнитного поля на магниточувствительный диод VD1. Возникновение индуктивных свойств в биполярных структурах связано с конечной скоростью движения носителей заряда в базовой области. Сигнал, приложенный к эмиттеру, не может появиться на коллекторном переходе, пока носители заряда проходят базу, в результате чего возникает задержка во времени, которая получила название времени пролета. Таким образом, ток коллектора отстает во времени от напряжения на эмиттере, которое вызвало этот ток, что соответствует индуктивной реакции на электродах эмиттер-коллектор биполярного транзистора. Величина индуктивности и добротности определяется на основе нелинейной модели индуктивного транзистора, основанной на модели Эберса-Молла, которая получена из общей математической модели транзистора. Выходными данными для данной модели является система основных уравнений, которые описывают поведение носителей заряда в полупроводниковом материале, а также математические соотношения, которые характеризуют поведение p-n переходов. Индуктивность теоретической модели зависит от электрофизических параметров полупроводникового материала базы, режима питания транзистора по постоянному и переменному напряжениям, а также от геометрических размеров транзистора, что позволяет управлять ее величиной как электрическим, так и технологическим путями. Внешние параметры транзистора, которые непосредственно не связаны с процессами переноса носителей заряда, такие как барьерные емкости эмиттерного и коллектор-

ного переходов, омическое сопротивление базовой области, индуктивности выводов существенно влияют на величину индуктивности, которая возникает в процессе переноса носителей заряда в базовой области. Включение внешней R_7C_2 - цепочки к транзистору VT3 позволяет увеличить как индуктивность, так и добротность активного элемента с одной стороны, а с другой стороны - полностью реализовать как активный индуктивный элемент, так и все устройство по интегральной технологии.

На основе эквивалентной схемы согласно методу Ляпунова определена функция преобразования устройства. Аналитическая зависимость функции преобразования имеет вид

$$F_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{A_1 + \sqrt{A_1^2 + 4L_1C_{jbc1}(C_e(B)R_B(B))^2}}{2L_{ekv}C_{jbc1}(R_B(B)C_e(B))^2}}, \quad (1)$$

где

$A_1 = L_{ekv}C_{jbc1} - (C_e(B)R_B(B))^2 - C_{jbc1}C_e(B)R_B^2(B)$,
 L_{ekv} - активная индуктивность на основе VT3 и последовательной C_2R_7 - цепи, C_{jbc1} - емкость перехода база-коллектор транзистора VT1.

Графическая зависимость функции преобразования представлена на рис.2.

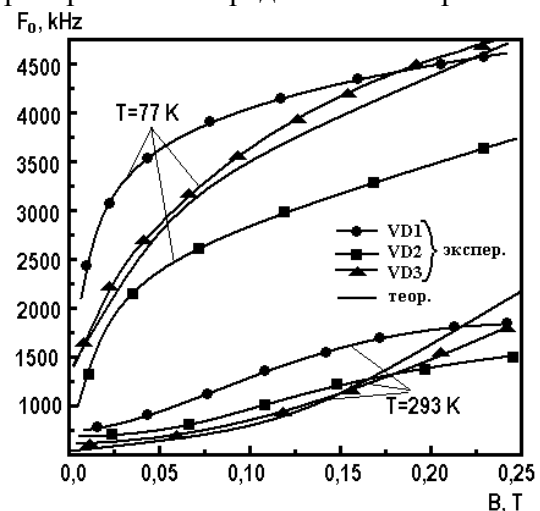


Рис.2. Экспериментальные и теоретические зависимости частоты генерации от величины магнитной индукции при различных температурах

Чувствительность радиоизмерительного преобразователя магнитного поля определяется на основе выражения (1) и описывается уравнением

$$\begin{aligned}
 S_B^{F_0} = & -0.0198 \left(-2C_e(B)R_B^3(B)C_{jbc1} \left(\frac{\partial C_e(B)}{\partial B} \right) \times \right. \\
 & \times \sqrt{A_1 + 2A_2} - 2C_e^2(B)R_B^3(B) \left(\frac{\partial C_e(B)}{\partial B} \right) - 2C_e^3(B) \times \\
 & \times R_B^2(B) \left(\frac{\partial R_B(B)}{\partial B} \right) - 3C_e(B)R_B^3(B)C_{jbc1} \left(\frac{\partial C_e(B)}{\partial B} \right) - \\
 & - 2C_{jbc1}C_e^2(B)R_B^2(B) \left(\frac{\partial R_B(B)}{\partial B} \right) + 8C_e^2(B)L_{ekv} \times \\
 & \times R_B^3(B)C_{jbc1} \left(\frac{\partial C_e(B)}{\partial B} \right) + 8L_{ekv}C_{jbc1}C_e^2(B)R_B^2(B) \times \\
 & \times \left(\frac{\partial R_B(B)}{\partial B} \right) + 4L_{ekv}C_{jbc1}R_B(B) \left(\frac{\partial C_e(B)}{\partial B} \right) \sqrt{A_1^2 + 2A_2} + \\
 & + 4R_B(B) \left(\frac{\partial C_e(B)}{\partial B} \right) L_{ekv}C_{jbc1} + 4C_e(B)L_{ekv}C_{jbc1} \times \\
 & \times \left(\frac{\partial R_B(B)}{\partial B} \right) \sqrt{A_1^2 + 2A_2} + 4L_{ekv}C_{jbc1}C_e(B) \times \\
 & \times \left. \left(\frac{\partial R_B(B)}{\partial B} \right) \right) / \left(\left(2\sqrt{A_1 + \sqrt{A_1^2 + 2A_2}} / A_2 \right) \times \right. \\
 & \left. \times L_{ekv}C_{jbc1}C_e^3(B)R_B^3(B)\sqrt{A_1^2 + 2A_2} \right),
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

где $A_2 = 2L_{ekv}C_{jbc1}(C_e(B)R_B(B))^2$.

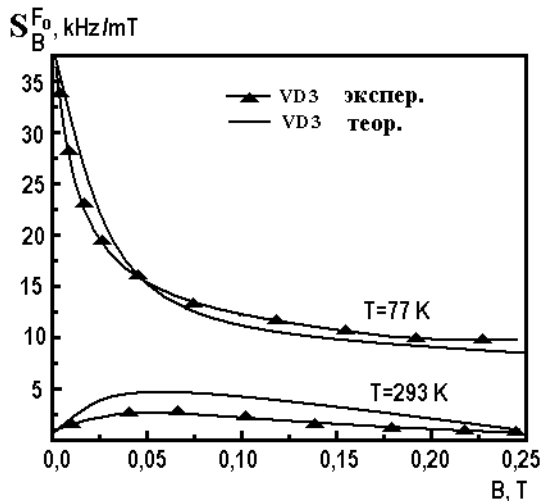


Рис.3. Экспериментальные и теоретические зависимости чувствительности от индукции магнитного поля

Чувствительность разработанного частотного преобразователя магнитной индукции составляет 2 – 34 кГц/мТ. Как видно из графика уменьшение температуры, при которой работает преобразователь магнитного поля, позволяет резко увеличить чувствительность устройства.

Выводы

Предложена схема радиоизмерительного преобразователя магнитного поля на основе биполярных транзисторов с частотным выходным сигналом, в которой магниточувствительным элементом является магнитодиод. Для реализации преобразователя в виде интегральной схемы пассивная индуктивность колебательного контура заменена активной индуктивностью на основе биполярного транзистора с фазосдвигающей цепью. Как показали экспериментальные исследования чувствительность преобразователя составляет 2 – 34 кГц/мТ и резко возрастает с понижением рабочей температуры устройства.

Литература

1. Новицкий П.В., Кноринг В.Г., Гутников В.С. Цифровые приборы с частотными датчиками. –Л.: Энергия, 1970. –424с.
2. Патент №78565 України, МПК Н01 L 43/06, G01R 33/06. Сенсор магнітної індукції / Осадчук В.С., Осадчук О.В. Опубл. Бюл.№7 від 10.04.2007.
3. Патент №80906 України, МПК Н01 L 43/06, G01R 33/06. Мікроелектронний вимірювач магнітної індукції з частотним виходом. / Осадчук В.С., Осадчук О.В. Опубл. Бюл.№18 від 12.11.2007.