

СЕНСОРИ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН

PHYSICAL SENSORS

УДК 621.382

DOI: <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2020.4.219308>

МЕТОДИ СТАБІЛІЗАЦІЇ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКІВ НА ОСНОВІ МАГНІТОЧУТЛИВИХ ТРАНЗИСТОРНИХ СТРУКТУР

М. А. Глауберман, Я. І. Лепіх, А. П. Балабан, П. О. Снігур

Одеський національний університет імені І.І. Мечникова
вул. Дворянська, 2, 65082, Одеса, ndl_lepikh@onu.edu.ua

МЕТОДИ СТАБІЛІЗАЦІЇ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКІВ НА ОСНОВІ МАГНІТОЧУТЛИВИХ ТРАНЗИСТОРНИХ СТРУКТУР

М. А. Глауберман, Я. І. Лепіх, А. П. Балабан, П. О. Снігур

Анотація. Температурна нестабільність основних характеристик напівпровідникових датчиків є перешкодою їх підвищення, зокрема, роздільної здатності. В роботі розглянуті методи усунення цієї нестабільності датчиків на основі магніточутливих транзисторних структур при впливі на них температури. Методика зниження температурної нестабільності реалізується за допомогою включення в схему елементів, параметри яких залежать від температури та метод послаблення (компенсування) цього паразитного ефекту для двоколекторної магніточутливої транзисторної (ДМТ) структури завдяки спеціальному вибору зворотних зв'язків у схемі обробки сигналу.

Ключові слова: магніточутливі транзисторні структури, температурна нестабільність, стабілізація параметрів.

METHODS OF THE GAUGES BASED ON THE MAGNETOSENSITIVE TRANSISTOR STRUCTURE CHARACTERISTIC STABILIZATION

M. A. Glauberman, Ya. I. Lepikh, A. P. Balaban, P. O. Snigur

Annotation. Temperature instability of the semiconductor gauge main characteristics is the obstacle to increase, in particular, their resolution.

The paper considers methods for eliminating this instability in the gauges based on the magneto-sensitive transistor structures. A technique for reducing temperature instability is realized by including into the circuit elements which parameters depend on temperature and weakening (compensating) this

parasitic effect for two-collector magnetosensitive transistor (DMT) structure due to a special choice of feedback in the signal processing circuit.

Keywords: magnetosensitive transistor structure, temperature instability, parameter stabilization.

МЕТОДЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКОВ НА ОСНОВЕ МАГНИТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ТРАНЗИСТОРНЫХ СТРУКТУР

М. А. Глауберман, Я. И. Лепих, А. П. Балабан, П. А. Снегур

Аннотация. Температурная нестабильность основных характеристик полупроводниковых датчиков является препятствием их повышения, в частности, разрешающей способности. В работе рассмотрены возможности устранения этой нестабильности датчиков на основе магниточувствительных транзисторных структур при действии на них температуры. Методика снижения температурной нестабильности реализуется посредством включения в схему элементов, параметры которых зависят от температуры и ослабление (компенсации) этого паразитного эффекта для двухколлекторной магниточувствительной транзисторной (ДМТ) структуры благодаря специальному выбору обратных связей в схеме обработки сигнала.

Ключевые слова: магниточувствительные транзисторные структуры, температурная нестабильность, стабилизация параметров.

Вступ

Температура является важным внешним фактором дестабилизирующим характеристики абсолютной большинства полупроводниковых устройств. Не является исключением и магниточувствительные транзисторные структуры (МТС). Проблема полягается не только в том, что температура влияет непосредственно на материал, что проявляется, в частности, на характере переноса носителей заряда, а и в том, что отведение тепла от полупроводникового материала у устройств при использовании термостабилизирующих или экранирующих элементов не всегда эффективно, а, кроме того, усложняет конструкцию в целом и ведет к увеличению массо-габаритных параметров изделий.

Температурные зависимости электрофизических параметров МТС были досконально исследованы и приведены, в частности, в [1]. В данной работе ставилась задача решить проблемы термостабилизации параметров двухколлекторной магниточувствительной транзисторной (ДМТ) структуры схемотехническими методами.

Методи розв'язку задачі і обговорення результатів

Температурна нестабільність залишкового сигналу в наслідок конструктивно-технологічних рішень МТС є головною перешкодою на шляху підвищення роздільної здатності МТС датчиків. Для ДМТ цей паразитний ефект може бути послаблений (скомпенсований) завдяки спеціальному вибору зворотних зв'язків у схемі обробки сигналу. За відсутності магнітного поля при постійному струмі емітера різниця колекторних струмів виникає внаслідок відмінності коефіцієнтів передачі струму в кожному з колекторів:

$$\Delta I_C = (\alpha_1 - \alpha_2) I_E. \quad (1)$$

Поставимо емітерний струм в залежність від суми колекторних струмів, що можна реалізувати ланцюгом негативного зворотного зв'язку. Нехай

$$I_E = I_0 - K_0 (I_{C1} - I_{C1}), \quad (2)$$

де I_0 - константа пристрою, K_0 - коефіцієнт зворотного зв'язку. Тоді, використовуючи формулу для обрахування коефіцієнтів передачі струму в кожному з колекторів

$$\alpha(B) = \frac{1}{2} \left\{ 1 - \left(\frac{b}{L} \right) * \left[\frac{1}{2} \left(\frac{b}{L} \right) P_2(\theta) + \frac{1}{2} \left(\frac{b}{L} \right)^2 P_3(\theta) \eta \mu_{eff}^* B + \theta \eta \mu_{mj}^* B \right] \right\}, \quad (3)$$

а також (2) і (1), представляємо ΔI_C як функцію від α_1 , α_2 і K_0 . Враховуючи, що температурна залежність ΔI_C виникає внаслідок температурної залежності α_1 і α_2 , прирівнюємо нулю повну похідну отриманого виразу по температурі. В результаті отримуємо значення K_0 , що забезпечує температурну стабільність ΔI_C [2]:

$$K_0 = \left[-(\alpha_1 + \alpha_2) + (\alpha_1 - \alpha_2) * \frac{\partial(\alpha_1 + \alpha_2)/\partial T}{\partial(\alpha_1 - \alpha_2)/\partial T} \right]^{-1}. \quad (4)$$

При підстановці в (4) виразів

$$\alpha_1 = \frac{1}{2} \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{b_1}{L_1} \right)^2 P_2(\theta) \right]$$

та

$$\alpha_2 = \frac{1}{2} \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{b_2}{L_2} \right)^2 P_2(\theta) \right], \quad (5)$$

записаних на підставі (3) при $B = 0$, можна отримати конкретне значення K_0 і тим самим довести можливість термостабілізації залишкового сигналу ДМТ. В (5) через b_1 і b_2 позначені відстані від осі симетрії до відповідних колекторів ($b_1 \neq b_2$) означає несиметричне розташування емітера, а через L_1 і L_2 - «ефективні» дифузійні довжини (параметри, що характеризують темп рекомбінації неосновних носіїв в лівій і правій щодо осі частинах бази. Оскільки емітерні і колекторні області ДМТ формуються за допомогою єдиного фотошаблону і в процесі однієї технологічної операції відсутня помилка суміщення, це дозволяє вважати, що $b_1 = b_2$. При цьому для практичного використання виразу (5) значення α_1 і α_2 вибираються з вимірів, потім визначаються L_1 і L_2 з допомогою (5) і їх похідні по температурі на підставі відомих залежностей для дифузійної довжини (див., наприклад, [3]). Після цього з вико-

ристанням отриманого з (5) співвідношення $\partial \alpha_1 / \partial T = P_2(\theta) b^2 / (2L^3) * \partial L / \partial T$ розраховуємо конкретне значення K_0 . На практиці описаним способом вдавалося знизити температурний дрейф ДМТ зі значення близького до 1 Гс / К до 0.15 Гс / К.

Однак очевидно, що цей спосіб не може бути рекомендований для виготовлення приладів груповим методом за стандартною ІС-технологією, оскільки кожен зразок потребує індивідуальної підгонки параметрів зворотного зв'язку. Крім того, як показує практика, виявляється необхідним застосування спеціальних заходів щодо усунення самозбудження пристрою, що дещо ускладнює його налагодження навіть в разі дискретного виконання.

На рис. 1 а показана схема термостабілізації за рахунок варіювання емітерного струму ДМТ. Тут базовий ланцюг живиться від джерела напруги V_0 , а емітерна – струмом

$$I_E = R^{-1} \left(V_0 \frac{\alpha_1}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha + \alpha_3} - V_{jd} \right),$$

який внаслідок $\partial V_i / \partial T < 0$, зростає із зростанням температури. На практиці таким шляхом вдалося знизити температурний коефіцієнт чутливості λ в 3 рази, досягнувши значення 0.08% / К. На рис.1 б схемно показано спосіб термостабілізації за рахунок варіювання струму бази (прискорюючого поля).

Тут використовується позитивна температурна залежність струму через R-VT-ланцюжок, що обумовлено зростанням коефіцієнта посилення по струму транзистора VT (в схемі з загальним емітером) при збільшенні температури. При цьому вдалося досягти зниження λ вдвічі. Очевидно, що перший спосіб краще ще й тому, що вимагає менших значень V_0 .

Значно більшого зниження λ і навіть повної термокомпенсації в певному діапазоні температур вдається досягти, ставлячи режим структури в залежність від її електрофізичного стану при використанні зворотних зв'язків [4]. Спосіб реалізації цього принципу пояснюється на рис. 1 в, де φ_{B2} та φ_0 – потенціали, що задаються. Для обведеної пунктиром частини даної схеми справедливо

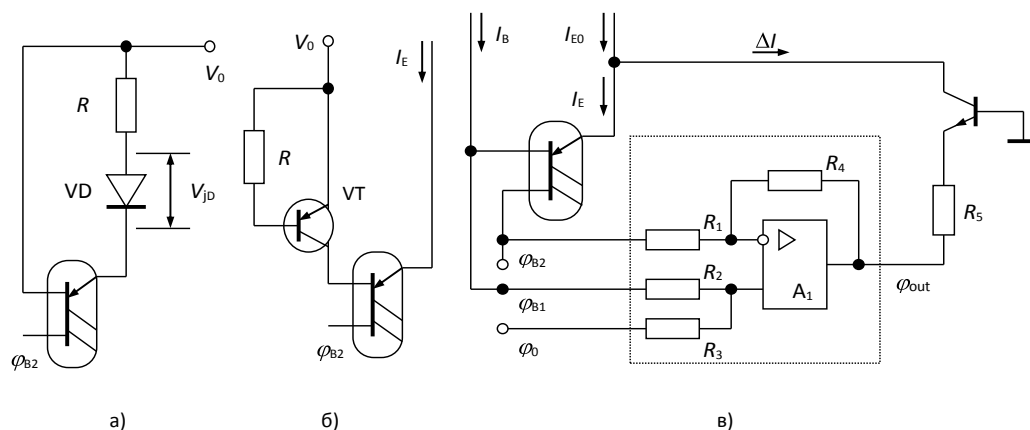


Рис. 1. Параметричні (а, б) і компенсаційна (в) схеми термокомпенсації абсолютної чутливості ДМТ

$$\varphi_{out} = k(1 + K)\varphi_{B1} - K\varphi_{B2} + (1 - k)(1 + K)\varphi_0, \quad (6)$$

де $k \equiv R_3 / (R_2 + R_3)$; $K \equiv R_4 / R_1$. При виконанні умови $R_1 / R_4 = R_2 / R_3$ вираз (6) набуває вигляду

$$\varphi_{out} = K(\varphi_{B1} - \varphi_{B2}) + \varphi_0, \quad (7)$$

тобто сигнал на виході операційного підсилювача стає функцією лише від падіння напруги $V_{BB} = \varphi_{B2} - \varphi_{B1}$ між базовими електродами ДМТ, що при рівності між собою величин всіх чотирьох опорів схеми ($K = 1$) робить вихідний сигнал рівним відхиленню міжбазової напруги від опорного потенціалу φ_0 :

$$\varphi_{out} = \varphi_0 - V_{BB}. \quad (8)$$

Це відхилення викликає струм в ланцюгу колектора транзистора VT

$$\Delta I = (\varphi_{out} - V_j) / R_5,$$

де V_j - напруга на емітерному переході цього транзистора, так що емітерний струм ДМТ в кінцевому рахунку змінюється з урахуванням (8), згідно із законом

$$I_E = I_{E0} - \Delta I = I_{E0} + (V_{BB} + V_j - \varphi_0) / R_5. \quad (9)$$

Термокомпенсація в розглянутій схемі здійснюється наступним чином. Оскільки базовий ланцюг живиться постійним струмом I_B , при даній температурі в схемі встановлюється певне значення V_{BB} і відповідне йому значення

I_E . При зниженні температури підвищується рухливість основних носіїв в базі, що веде до збільшення чутливості і, з огляду на зміни опору бази, - зменшення V_{BB} . Тим самим, згідно (9), це призводить до зменшення струму емітера, а значить і абсолютної чутливості на величину, яка визначається множителем $1 / R_5$.

Очевидно, за рахунок вибору величини R_5 можна задавати будь-яку ступінь компенсації. Емітерний струм встановлюється тут варіюванням потенціалу φ_0 . Величину I_B , що визначає початкове значення V_{BB} , слід вибирати таким чином, щоб при найменшій робочій температурі вираз в дужках (9) залишався позитивним (порушення цієї умови призводить до замикання транзистора VT).

Висновки

Показано, що стабілізація основних характеристик датчиків на основі магніточутливих транзисторних структур від впливу температури може бути ефективно досягнута схемотехнічними методами.

Список використаної літератури

[1]. Lepikh Ya. I., Glauberman M. A. Vplyv temperatury na parametry mahnitochutlyvykh tranzystornykh struktur // Sensor Electronics and Microsystem Technologies 2020 - Т. 17, №1.- Р. 29–37 (in Ukrainian).

[2] Burghartz J., von Munh W. Optimization of lateral magnetotransistors with integrated signal

amplification // Sensors and Actuators. - 1987. - Vol.11, No.1. - P. 91–98.

[3] Zi S. Fizika poluprovodnikovyykh priborov. Per. s angl. / Pod red. R. A. Surisa. - M.: Mir, 1984. - T. 1, 421 s. (in Russian).

[4] A.s. 1501740 SSSR, MKI G01R 33/00, 33/06. Magnitochuvstvitel'noe ustrojstvo /

I. M. Vikulin, E. A. Vasil'kovskaya, M. A. Glauberman, A. B. Ivanov, I. P. Shnajder. - No.4363626; Zayavleno 12.10.88; Opublikovano 15.04.89–3 s., 1 l. il. (in Russian).

Стаття надійшла до редакції 14.11.2020 р.

UDC 621.382

DOI: <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2020.4.219308>

METHODS OF THE GAUGES BASED ON THE MAGNETOSENSITIVE TRANSISTOR STRUCTURE CHARACTERISTIC STABILIZATION

M. A. Glauberman, Ya. I. Lepikh, A. P. Balaban, P. O. Snigur

Odesa I. I. Mechnykov National University,
2, Dvoryanska str., 65082, Odesa, ndl_lepikh@onu.edu.ua

Summary

The paper presents the results of a study of methods for stabilizing the characteristics of gauges based on magnetosensitive transistor structures under the influence of temperature.

The problem is not only that the temperature directly affects the material, what show up, in particular, in the nature of the charge carrier transfer, but also that the heat dissipation from the semiconductor material in the device when using thermostatic or shielding elements is not always effective, complicates the construction as a whole and leads to an increase in the product mass and dimensions.

Temperature dependences of MTS electrophysical characteristics were perfectly investigated and resulted, in particular, in [1]. In this paper, the task was to solve the problem of the two-collector magnetosensitive transistor (DMT) structure parameter thermal stabilization by circuit method.

Keywords: magnetosensitive transistor structure, temperature instability, parameter stabilization.

УДК 621.382

DOI: <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2020.4.219308>

МЕТОДИ СТАБІЛІЗАЦІЇ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКІВ НА ОСНОВІ МАГНІТОЧУТЛИВИХ ТРАНЗИСТОРНИХ СТРУКТУР

М. А. Глауберман, Я. І. Лепіх, А. П. Балабан, П. О. Снігур

Одеський національний університет імені І.І. Мечникова
вул. Дворянська, 2, 65082, Одеса, ndl_lepikh@onu.edu.ua

Реферат

В роботі наведені результати дослідження методів стабілізації характеристик датчиків на основі магніточутливих транзисторних структур при впливі на них температури.

Проблема полягає в тому, що температура впливає не тільки безпосередньо на матеріал, що проявляється, зокрема, на характері переносу носіїв заряду, а і в тому, що відведення тепла від напівпровідникового матеріалу у пристрої при використанні термостатуючих чи екрануючих елементів не завжди ефективно, а, крім того, ускладнює конструкцію в цілому і веде до збільшення масо-габаритних параметрів виробів.

Температурні залежності електрофізичних характеристик МТС нами були досконало досліджені і наведені, зокрема, в [1]. В даній роботі ставилася задача вирішити проблеми термостабілізації параметрів двоколекторної магніточутливої транзисторної (ДМТ) структури схемотехнічними методами.

Ключові слова: магніточутливі транзисторні структури, температурна нестабільність, стабілізація параметрів.