

# СЕНСОРИ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН

---

## PHYSICAL SENSORS

---

---

PACS: 75.50.Pp, 81.40.Wx УДК: 621.382

DOI: <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2021.1.227405>

### ВПЛИВ ШУМІВ НА РОЗДІЛЬНУ ЗДАТНІСТЬ ДАТЧИКІВ НА ОСНОВІ МАГНІТОТРАНЗИСТОРНИХ СТРУКТУР

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

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова  
вул. Дворянська, 2, 65082, Одеса, [ndl\\_lepikh@onu.edu.ua](mailto:ndl_lepikh@onu.edu.ua)

### ВПЛИВ ШУМІВ НА РОЗДІЛЬНУ ЗДАТНІСТЬ ДАТЧИКІВ НА ОСНОВІ МАГНІТОТРАНЗИСТОРНИХ СТРУКТУР

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

**Анотація.** Абсолютна чутливість - параметр, що безпосередньо зв'язує збуджуючу величину з відгуком на неї є визначальною фізичною характеристикою абсолютної більшості перетворюючої структури незалежно від принципу роботи. Цей параметр вважається і основним критерієм якості виробу при використанні таких структур як датчиків відповідних величин. Тому завдання підвищення чутливості перетворювачів залишається актуальним і в зв'язку зі зростаючою кількістю датчиків, побудованих на нових принципах: нові матеріали, нові функціональні можливості і зростаючі вимоги, що впливають з умов експлуатації датчиків.

**Ключові слова:** магнітотранзисторні структури, чутливість, шуми.

### NOISE INFLUENCE ON THE RESOLUTION OF THE SENSORS BASED ON MAGNETIC TRANSISTOR STRUCTURES

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

**Abstract.** Absolute sensitivity is a parameter that directly connects the disturbing value with the response to it, is the determining physical characteristic of the absolute majority of the conversion structure, regardless on the operation principle. This parameter is also considered the main criterion for the quality of the product when using such structures as sensors of the corresponding values. Therefore, the problem of the transducer sensitivity increasing remains relevant in connection with the increasing the sensor number built on new principles: new materials, new functionality and increasing the requirements arising from the sensor operating conditions.

**Keywords:** magnetotransistor structures, sensitivity, noise.

## ВЛИЯНИЕ ШУМОВ НА РАЗРЕШАЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ ДАТЧИКОВ НА ОСНОВЕ МАГНИТОТРАНЗИСТОРНЫХ СТРУКТУР

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

**Аннотация.** Абсолютная чувствительность – параметр, непосредственно связывающий возмущающую величину с откликом на нее, является определяющей физической характеристикой абсолютного большинства преобразовательных структур, независимо от принципа работы. Этот параметр считается и основным критерием качества изделия при использовании таких структур в качестве датчиков соответствующих величин. Поэтому задача повышения чувствительности преобразователей остается актуальной и в связи с возрастающим количеством датчиков, построенных на новых принципах: новых материалах, новых функциональных возможностях и возрастающих требований, вытекающих из условий эксплуатации датчиков.

**Ключевые слова:** магнитотранзисторные структуры, чувствительность, шумы.

### Вступ

Відомо, що однією з основних характеристик датчиків магнітного поля на основі магнітотранзисторних структур (МТС) є чутливість. Відомо також, що чутливість датчиків будь-якої фізичної величини побудованих на основі напівпровідникових матеріалів і структур залежить від власних шумів. Магніточутливість МТС будь-якого типу обумовлена виникненням магнітного поля зі струмом неосновних носіїв, що протікають по поверхні розділу колектор-база. Експериментальні дослідження чутливих МТС в умовах дії шумів залишається актуальним завданням, якому присвячена дана робота.

Розглянуто двоколекторна дифузійна МТС, як модельне уявлення, придатне для опису практично будь-яких різновидів цих структур.

### Результати досліджень та їх обговорення

Сучасні можливості мікроелектроніки дозволяють шляхом інтеграції на єдиному чіпі з первинним перетворювачем електронної схеми обробки сигналу, підвищити рівень вихідного сигналу до як завгодно великого значення, в результаті чого прагнення до підвищення абсолютної чутливості втрачає актуальність. Однак разом з посиленням корисного відгуку неминуче зростає вплив факторів, що обмежують роздільну здатність датчика - шуми при реєстрації змінних магнітних полів в разі маг-

ніточутливих транзисторних структур (МТС), і залишковий сигнал, точніше - його неконтрольовані зміни під дією зовнішніх факторів при реєстрації постійних полів. Таким чином, саме роздільна здатність МТС стає головним критерієм якості цих структур як датчиків.

Роздільну здатність МТС (мінімальне значення магнітної індукції, яке можна зареєструвати перетворювачем), прийнято оцінювати мінімальним полем  $B_{\min}$  і еквівалентним полем  $B_{eq}$  [1]:

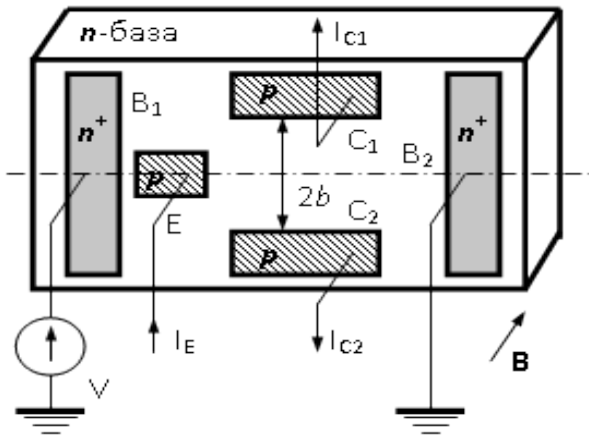
$$B_{\min} \equiv S_A^{-1} \sqrt{S(f)}; \quad (1)$$

$$B_{eq} \equiv S_A^{-1} \sqrt{\int_{f_1}^{f_2} S(f) df}, \quad (2)$$

де  $S(f)$  - спектральна щільність потужності шумів на частоті  $f$ ;  $f_1 \dots f_2$  - частотний діапазон, в якому оцінюється  $B_{eq}$ . Очевидно, що для практичних застосувань, де якості приладу оцінюються в кінцевому діапазоні частот, найбільш важливий параметр  $B_{eq}$ .

Низькочастотні шуми типу  $1/f$  (флікер-шум [2]) в двоколекторних ДМТ виявляються добре корельованими для струмів різних колекторів, як для вертикальних структур, так і для горизонтальних з поздовжньою віссю [3,4]. Важливо відзначити, що експериментальні вертикальні структури в залежності від умов зсувів можуть виявляти відсутність кореляції і навіть антикореляцію [5].

Нами експериментально досліджувалися шумові властивості ДМТ з поперечною віссю типу представленого схематично на рис 1.

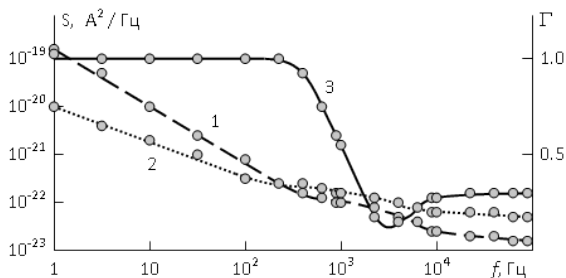


**Рис. 1. Горизонтальні ДМТ з поперечною магнітною віссю з дрейфовим переносом**

Використовувалися зразки з кремнію *p*-типу з питомим опором  $\rho = 100 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ , розмірами емітера  $30 \times 40 \text{ мкм}$ , відстанню емітер - база ( $B_2$ )  $300 \text{ мкм}$  і міжколекторною відстанню  $2b = 190 \text{ мкм}$ . Коефіцієнт передачі струму становив  $\alpha \approx 0.01$ . Визначалися спектральні щільності потужності флюктуючих величин  $x$ :

$$S_x(f) = \frac{\langle x^2 \rangle}{\Delta f}$$

Результати вимірювань показані на рис. 2. Тут крива 1 представляє спектральні щільності колекторних струмів  $S_{I1}$  і  $S_{I2}$  ( $S_{I1} = S_{I2}$ ); 2 - теж для різниці цих струмів  $SD$ ; 3 - функцію кореляції  $\Gamma_{I2}(f)$ :



**Рис. 2. Шумові властивості ДМТ**

$$\Gamma_{I2}(f) = \frac{\text{Re}[S_{I2}(f)]}{S_{I1}(f)} = 1 - \frac{S_D(f)}{2S_{I1}(f)},$$

де  $\text{Re}(S_{I2})$  - речова частина перехресної спектральної щільності (уявна зневажливо мала через відсутність ємнісного зв'язку між колекторами).

Видно, що в діапазоні частот  $1 \dots 400 \text{ Гц}$  шуми сильно корельовані. У подвійному логарифмічному масштабі залежність  $S_D(f)$  має на цій ділянці кутовий коефіцієнт  $-0.962$ , що відповідає фліккер-шумам. В діапазоні  $0.4 \dots 4 \text{ кГц}$  спектральні щільності колекторних струмів, а особливо їх різниці, мають плато, що характерно для лоренцевого спектра шуму, обумовленого генерацією-рекомбінацією носіїв заряду. На частотах понад  $10^4 \text{ Гц}$  шуми ДМТ мають «білий» спектр і являють собою дробовий шум.

Факт сильної взаємної позитивної кореляції шумових струмів колекторів в діапазоні  $1 \dots 400 \text{ Гц}$  може бути пояснений флуктуаціями струму інжекції в емітерному переході, які одночасно впливають на обидва колектори. Наслідком такої кореляції для низькочастотного шуму є високе відношення сигнал / шум ( $C / Ш$ ), яке визначається як

$$C/Ш(f) = \Delta I_C * \left[ \int_{f_1}^{f_2} S_D(f) df \right]^{-1/2} = \Delta I_C * \left\{ \int_{f_1}^{f_2} S_{I1}(f) * [1 - \Gamma_{I2}(f)] df \right\}^{-1/2},$$

де  $\Delta I_C = I_{C1}(B) - I_{C2}(B)$ .

Тоді для  $(1 - \Gamma_{I2}) \sim 2 * 10^{-3}$ ,  $B = 1 \text{ Тл}$  і  $S_{I1} = K/f$ , де  $K = \text{const}$  визначається з рис. 2, отримуємо  $C / Ш = 8.25 * 10^5$ . При цьому вимога  $C / Ш = 1$  дає

$$B_{eq} \equiv \frac{2(1 - \Gamma_{I2})}{\Delta I_C} * \left[ \int_{f_1}^{f_2} \frac{df}{f} \right]^{-1/2},$$

величина якого в діапазоні  $1 \dots 400 \text{ Гц}$  приймає значення  $8.7 * 10^{-6} \text{ Тл}$ .

Оскільки дробові (білі) шуми колекторних струмів практично не корельовані, саме ними і обмежується дозвіл ДМТ. Для таких шумів спектральна щільність

$$S(f) = \frac{\partial \langle i_C \rangle}{\partial f} = 2eI_C,$$

де  $i_C$  - поточне значення шумового струму колектора. Маючи для наших структур з експерименту  $S_A \approx 5 \cdot 10^{-4}$  А / Тл, в області  $f > 10^4$  Гц (рис. 2) отримуємо  $B_{min} = 4 \cdot 10^{-8}$  Тл\*Гц<sup>1.2</sup>, що відповідає, згідно [6] найбільш високим з відомих значень для перетворювачів магнітного поля всіх видів (0.05 ... 40 мкТл / Гц<sup>1.2</sup>).

Беручи до уваги (2), можна записати [7]:

$$B_{eq}^2 = \frac{2eI_C}{S_A^2} (f_2 - f_1).$$

Тоді (2) можна переписати у вигляді

$$B_{eq} = \frac{1}{S_R \sqrt{\alpha}} \sqrt{\frac{2e(f_2 - f_1)}{I_E}},$$

де лише перший співмножник правої частини містить параметри ДМТ.

Важливо відзначити, що вищевикладене істотно лише для змінних (нехай навіть для як завгодно низькочастотних, квазістаціонарних) магнітних полів. Очевидно, що при вимірюванні полів строго постійних будь-які шуми можуть бути відфільтровані. Тому для постійних полів якість перетворювача оцінюється величиною залишкового сигналу [8] і відповідної йому магнітної індукції:

$$B_{eq} = \frac{\Delta I_0}{S_A} = I_E^{-1} \frac{\Delta \alpha}{\alpha S_R},$$

де  $\Delta I_0$  і  $\Delta \alpha$  - різниці відповідно колекторних струмів і коефіцієнтів передачі для кожного з колекторів у відсутності магнітного поля.

## Висновки

Роздільна здатність ДМТ в змінних магнітних полях визначається відношенням сигнал / шум. В області постійних магнітних полів вона

визначається величиною залишкового сигналу. І в тому і в іншому випадку роздільна здатність ДМТ є монотонно зростаючою функцією двох параметрів структури - ефективності перетворення і коефіцієнта передачі струму.

## Список використаної літератури

- [1]. Comparison of noise properties of different magneticfield semiconductor integrated sensors / A. Chovet, Ch. S. Roumenin, G. Dimopoulos, N. Mathieu // Sensors and Actuators. - 1990. - Vol. A22, Nos. 1-3. - P. 790-794.
- [2]. Van der Zil A. Edinoe predstavlenie shumov tipa 1/f v elektronnyh priborah: Fundamental'nye istochniki // TIHER. - 1988. - T.76, No.3. - S. 28-57 (in Russian).
- [3]. Nathan A., Baltes H. P. Integrated silicon magnetotransistors: High sensitivity or high resolution? // Sensors and Actuators. - 1990. - Vol. A22, Nos.1-3. - P. 780-785.
- [4]. Noise correlation in dual-collector magnetotransistors / A. Nathan, H. P. Baltes, D. R. Briglio, T. Doan // IEEE Transactions on Electron Devices. - 1989. - Vol.36, No.6. - P. 1073-1075.
- [5]. Castagnetti R., Baltes H. Noise correlation and operating conditions of dual-collector magnetotransistors // Sensors and Actuators. - 1991. - Vol.A26, Nos.1-3. - P. 363-367.
- [6]. Shumovye svoystva dvuhkollektornogo magnitotranzistora / I. M. Vikulin, M. A. Glauberman, V. V. Egorov, N. A. Kanishcheva // Radiotekhnika i elektronika. - 1992. - T.37, No.4. - S. 760-762 (in Russian).
- [7]. Chovet A., Mathcey N. Noise and Resolution of Semiconductor Integrated Magnetic Sensors // Sensors and Actuators A. - 1992. - V.32, Nos 1-3. - P. 682-687.
- [8]. Popovic R. S., Widmer R. Sensitivity and noise of a lateral bipolar magnetotransistor in CMOS technology // Int. Electron. Dev. Meet., San Francisco, Calif., Dec. 9-12, 1984. Techn. Dig. - New York, N.Y., 1984. - P. 568-571.
- [9]. Huijsing J. H. Signal conditioning on the sensor chip. // Sensors and Actuators. - 1986. - Vol.10, Nos 3&4. - P. 219-237.

Стаття надійшла до редакції 10.02.2021 р.

PACS: 75.50.Pp, 81.40.Wx UDC: 621. 382

DOI: <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2021.1.227405>

## NOISE INFLUENCE ON THE RESOLUTION OF THE SENSORS BASED ON MAGNETIC TRANSISTOR STRUCTURES

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

Odesa I. I. Mechnikov National University, 2, Dvoryanskaya str., Odesa, 65082,  
ndl\_lepikh@onu.edu.ua

### Summary

The main characteristics of transistor magnetosensitive structures (MTS), on the basis of which sensors of various physical quantities are built, for example, magnetic field sensors, are sensitivity and resolution. These characteristics are determined and depend on the properties of semiconductor materials and the actions of external destabilizing factors.

In this work, we investigated the effect of the intrinsic noise of transistor structures on their sensitivity.

The research was carried out on a model version of the MTS - a two-collector magnetoresistor (TMT) of wide application in practice, and the results of research on it can be extended to various designs,

It is shown that the dependence of this characteristic, expressed by the signal/noise ratio in constant (quasi-stationary) magnetic fields, is determined by the value of the residual signal arising under the influence of external factors. Their influence can be reduced by reducing the residual signal and compensating external influences using schematic methods.

**Keywords:** magnetotransistor structures, sensitivity, noise.

PACS: 75.50.Pp, 81.40.Wx УДК: 621. 382

DOI: <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2021.1.227405>

## ВПЛИВ ШУМІВ НА РОЗДІЛЬНУ ЗДАТНІСТЬ ДАТЧИКІВ НА ОСНОВІ МАГНІТОТРАНЗИСТОРНИХ СТРУКТУР

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

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

### Реферат

Основними характеристиками транзисторних магніточутливих структур (МТС), на основі яких будуються датчики різних фізичних величин, наприклад, датчики магнітного поля є чутливість і роздільна здатність. Ці характеристики визначаються і залежать від властивостей напівпровідникових матеріалів і дій зовнішніх дестабілізуючих факторів.

У даній роботі досліджувався вплив власних шумів транзисторних структур на їх чутливість.

Дослідження проводилися на модельному варіанті МТС - двоколекторному магніторезисторі (ДМТ) широкого застосування на практиці, а результати досліджень на ньому можуть бути поширені на різні конструкції.

Показано, що залежність цієї характеристики, що виражається відношенням сигнал / шум в постійних (квазі-стаціонарних) магнітних полях, визначається величиною залишкового сигналу, що виник під дією зовнішніх чинників. Їх вплив може бути знижено шляхом зменшення залишкового сигналу і компенсацією зовнішніх впливів схематичними методами.

**Ключові слова:** магніотранзисторні структури, чутливість, шуми.