

УДК 621.382

М.Р.Гладун, Р.Л.Голяка, І.Є.Лопатинський\*  
ДУ “Львівська політехніка”, кафедра електронних приладів  
\*ДУ “Львівська політехніка”, кафедра фізики

## ЛІНЕАРИЗАЦІЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРЕТВОРЕННЯ МАГНІТОКЕРОВАНИХ ІНТЕГРАЛЬНИХ СХЕМ

© М.Р.Гладун, Р.Л.Голяка, І.Є.Лопатинський, 2000

Подано результати розроблення і дослідження універсального перетворювача як частини однокристальної магніточутливої інтегральної схеми, який забезпечує ефективну і методологічно просту лінеаризацію характеристики перетворення інтегральних багатоклекторних магнітотранзисторів. Мінімальні структурні затрати та робота з уніполярними низьковольтними джерелами живлення є основними вимогами до розробки перетворювача. Принциповою особливістю пропонованого елемента інтегральної схеми є одночасна лінеаризація диференційного струмового сигналу по двох виходах без його перетворення в синфазний сигнал.

The design and investigation of universal converter as a part of on-chip magnetosensitive integrated circuit which provides effective and methodologically simple linearisation of transduction characteristic of integrated multi-collector are presented at this paper. Minimal structural expenditure and operation with unipolar low-voltage supply sources are the important demands of design. The principal peculiarity of the proposed unit is simultaneous linearisation of differential current signal on two output without intermediate conversion to single-phase signal.

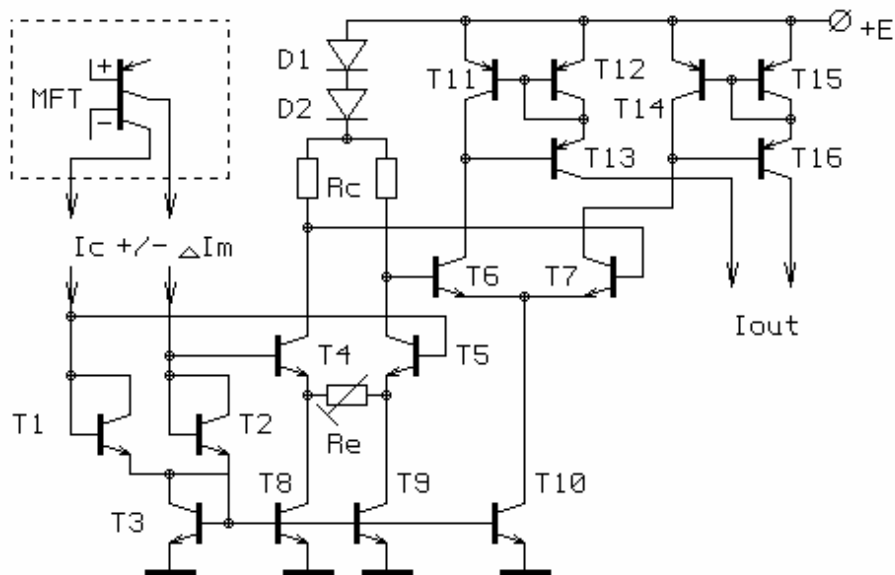
Магнітокеровані ІС широко застосовують як чутливі елементи у функціонально-орієнтованих магнітосенсорах струму і напруги, сенсорах швидкості, координат, потоку газів і рідин тощо Вони також використовуються в безклекторних двигунах, системах безпеки, безконтактних замках, локаторах металу, клавіатурі і джойстику комп'ютера, безконтактних системах запалення у двигунах системах автостою та ін. [1].

Нелінійність характеристики перетворення більшості з відомих сенсорів магнітного поля є однією з істотних причин обмеження прецизійності їх функціонування. Як відомо, найбільшими значеннями нелінійності характеризуються магнітодіоди, характеристика перетворення яких має зростаючу крутизну характеристики із збільшення напруженості магнітного поля. Дослідження інтегральних багатоклекторних магнітотранзисторів показали, що характеристики останніх проявляють значну нелінійність при напруженості магнітного поля вище 1-5 Тл [2]. Величина нелінійності значною мірою залежить від конструкції та електрофізичних характеристик магнітотранзисторів, а також від вибраних робочих режимів. Очевидно, що лише вибором конструкції та режимів роботи ефективно компенсувати нелінійність характеристики перетворення неможливо.

Розроблено універсальний вторинний перетворювач, який у складі однокристальних магнітосенсорних ІС забезпечував би ефективну та методологічно просту лінеаризацію

функції перетворення інтегральних багатоколекторних магнітотранзисторів. При цьому встановлюються вимоги мінімальних структурних затрат та можливості функціонування з низьковольтними однополярними джерелами живлення. Принциповою особливістю поставленої задачі є наявність диференційного струмового сигналу, що накладає додаткову вимогу – одночасної лінеаризації по обох диференційних входах без проміжного переведення сигналу в однофазний. Очевидно, що повинна забезпечуватися і висока температурна стабільність процесу лінеаризації.

До складу схеми розробленого лінеаризатора (рис. 1) входять вузол логарифмування на транзисторах  $T_1, T_2$  в діодному включенні, диференційний підсилювач з регульованим коефіцієнтом передачі на  $T_4, T_5, R_e, R_{c1}, R_{c2}$ , вузол антилогарифмування на диференційному каскаді  $T_6, T_7$ , інвертор струму  $T_{11} - T_{13}, T_{14} - T_{16}$  та відповідних джерел струму зміщення на  $T_{18} - T_{10}$ .



**Рис.1.** Лінеаризатор характеристик перетворення магнітотранзисторів інтегральних сенсорних пристроїв

Вихідні кола магнітотранзистора навантажені безпосередньо на входи лінеаризатора, причому, оскільки при зміні сигналу потенціали входів лінеаризатора практично незмінні, ефект Ерлі магнітотранзистора істотно мінімізовано. Результат досягнуто завдяки заміні навантаження магнітотранзистора з резистивного на діодне [3]. Приймаючи, що вихідний сигнал магнітотранзистора становить  $I_c \pm \Delta I_m$ , де  $I_c$  – синфазна складова колекторних струмів,  $\Delta I_m$  – диференційна складова, що зумовлюється величиною вимірюваного магнітного поля, напруга на діодах (транзисторах)  $T_1, T_2$  в діодному включенні становить

$$U_1 = m \cdot \varphi_t \cdot \ln \frac{I_c - \Delta I_m}{I_0} \quad (1)$$

$$U_2 = m \cdot \varphi_t \cdot \ln \frac{I_c + \Delta I_m}{I_0} \quad (2)$$

Отже, диференційну складову сигналу визначають як

$$\Delta U_1 = m \cdot \varphi_t \cdot \ln \frac{I_c + \Delta I_M}{I_c - \Delta I_M} \quad (3)$$

При умові, що диференційний опір емітерних переходів транзисторів  $T_4$ ,  $T_5$  значно менший від опору резистора струмового перетворення  $R_e$ , та знехтувавши базовими струмами транзисторів, диференційна складова сигналу на резисторах навантаження  $R_c$  становить

$$\Delta U_2 = U(R_{c1}) - U(R_{c2}) = Z \cdot m \cdot \varphi_t \cdot \ln \frac{I_c + \Delta I_M}{I_c - \Delta I_M} \quad (4)$$

де  $Z = 2 \cdot R_c / R_e$  - коефіцієнт передачі каскаду.

Враховуючи, що струм зміщення диференційного каскаду вузла антилогарифмування визначається синфазною складовою колекторних струмів магнітотранзистора

$$I_c(T_{10}) = 2 \cdot I_c, \quad (5)$$

вихідні струми каскаду становлять

$$I_c(T_6) = \frac{2 \cdot I_c}{1 + \exp(-\Delta U_2 / m \cdot \varphi_t)} \quad (6)$$

$$I_c(T_7) = \frac{2 \cdot I_c}{1 + \exp(\Delta U_2 / m \cdot \varphi_t)} \quad (7)$$

Поскільки вихідні струми лінеаризатора становлять

$$I_{out1} = I_c(T_{13}) = I_c(T_6), \quad (8)$$

$$I_{out2} = I_c(T_{16}) = I_c(T_7), \quad (9)$$

після відповідних перестановок отримуємо

$$I_{out1} = \frac{2 \cdot I_c}{1 + \left( \frac{I_c - \Delta I_M}{I_c + \Delta I_M} \right)^Z} \quad (10)$$

$$I_{out2} = \frac{2 \cdot I_c}{1 + \left( \frac{I_c + \Delta I_M}{I_c - \Delta I_M} \right)^Z} \quad (11)$$

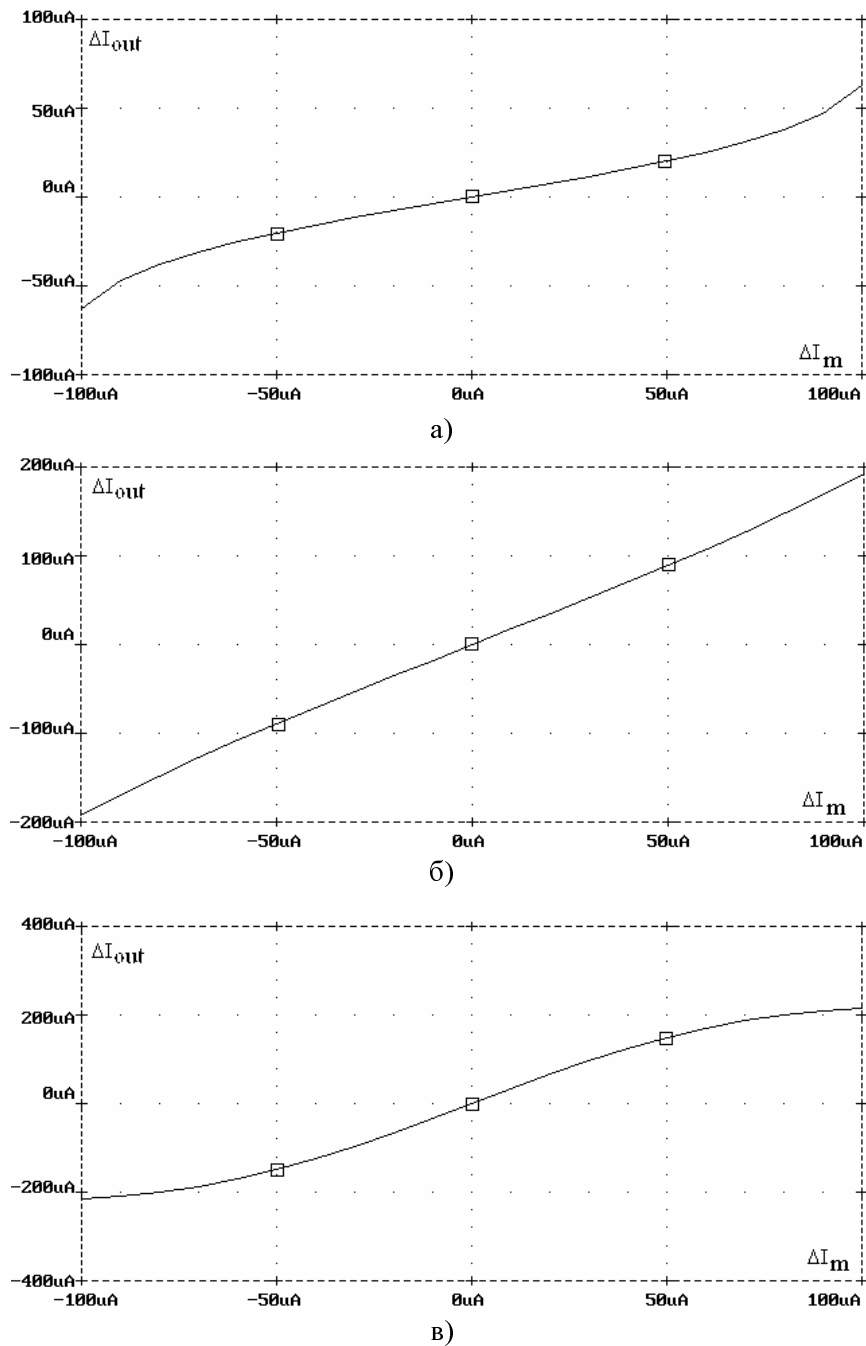
Як випливає з наведених виразів, в першому наближенні вихідний сигнал лінеаризатора не залежить від параметрів елементної бази схеми, тобто характеризується високою відтворюваністю та температурною стабільністю. Коефіцієнт лінеаризації  $Z$ , що визначається відношенням відповідних резисторів схеми, також є стабільною величиною.

Принциповою характеристикою схеми є відсутність у вихідному сигналі будь-яких супутніх компонент, притаманних відомим лінеаризаторам, зокрема постійного зміщення чи масштабного множника. Так, як можна показати, при  $Z = 2 \cdot R_c / R_e = 1$  вихідні сигнали тотожні вхідним:

$$I_{out1} = \frac{2 \cdot I_c}{1 + \frac{I_c - \Delta I_M}{I_c + \Delta I_M}} = I_c + \Delta I_M \quad (12)$$

$$I_{out2} = \frac{2 \cdot I_c}{1 + \frac{I_c + \Delta I_M}{I_c - \Delta I_M}} = I_c - \Delta I_M \quad (13)$$

Відзначимо іншу перевагу розробленої схеми: за відсутності вхідного сигналу лінеаризатор автоматично переходить у виключений режим, в якому повністю відсутнє енергоспоживання.



**Рис.2.** Результати дослідження нормованої характеристики перетворення вимірювальної схеми на основі латерального магнітотранзистора та розробленого лінеаризатора при різних значеннях коефіцієнта  $Z$  (а -  $Z = 2$ , б -  $Z = 1$ , в -  $Z = 0,5$ )

На рис.2 наведено результати дослідження нормованої характеристики перетворення виміральної схеми на основі латерального магнітотранзистора та розробленого лінеаризатора при різних значеннях коефіцієнта  $Z$ . З наведеного графіка видно, що можна змінювати величину та знак крутизни характеристики перетворення, що в остаточному результаті забезпечує лінеаризацію, компресію чи декомпресію функціональної характеристики магнітосенсорного пристрою.

Розроблені лінеаризатори характеристики перетворення забезпечують незалежне встановлення як функціонально завершених ІС чи як частина магнітосенсорної схеми дозволяють спростити процес лінеаризації. Принциповою перевагою такого методу реалізації схем є незалежність параметрів вихідного сигналу від невідтворюваності абсолютних номіналів інтегральних резисторів і відповідних температурних коефіцієнтів опору і відсутність багатоітераційності у процесі термокомпенсації. Регулювання температурного коефіцієнта напруги термокомпенсації запропонованих ІС в межах  $-5\dots+7$  мВ/К а також введення керованої параболічної нелінійності забезпечує можливість їх широкого застосування в різноманітних магнітосенсорних ІС.

1. Z.Gotra, W.Kalita, R.Golyaka, M.Gladoun *Principles of high-sensitive magneto-controlled integrated circuit creation // Proc. of 18-th Conference of ISHM Poland, Warsaw, 1994, pp.125-128.* 2. Z. Gotra, R.Golyaka, M.Gladoun *Magnetotransistors in the integrated sensor devices // Proc. of 1-st International Symposium on "Microelectronics Technologies and Microsystems", Poland, 1997. Pp.21-26.* 3. D.Bursky *Digital ICs become the system as complexities increase // Electronic Devices, 1992, #24, pp.66-70.*

УДК 621.315.592

**А.О.Дружинін, О.М.Лавитська, І.Й.Мар'ямова, Ю.М.Панков, Ю.М.Ховерко**  
ДУ "Львівська політехніка", кафедра напівпровідникової електроніки

## **МІКРОЕЛЕКТРОННІ СЕНСОРИ НА ОСНОВІ ШАРІВ КНІ, РЕКРИСТАЛІЗОВАНИХ ЛАЗЕРНИМ ОПРОМІНЕННЯМ**

© А.О.Дружинін, О.М.Лавитська, І.Й.Мар'ямова, Ю.М.Панков, Ю.М.Ховерко, 2000

**Описується зміст теоретичних, експериментальних, технологічних науково-дослідних робіт із метою створення українського промислового мікроелектронного сенсора тиску. Обговорюється використання лазерної рекристалізації в технології сенсорів як метода покращання характеристик КНІ п'єзорезисторів.**

**The content of R&D works (theory, experimental, design and technology) performed in the «Lviv Polytechnic» State University in order to develop commercial Ukrainian microelectronic SOI pressure sensors is presented. The use of the microzone laser recrystallisation in sensor technology as a method to obtain improved performances of SOI piezoresistor is discussed.**

### **1. Вступ**

Створення українського промислового мікроелектронного сенсора тиску на основі КНІ структур було започатковано у 90-х роках, коли дві групи фахівців в галузі КНІ технології