

УДК 621.315.592

ВИСОКОСТАБІЛЬНИЙ ГАЛЬВАНОМАГНІТНИЙ СЕНСОР З ЧАСОВИМ ПЕРЕТВОРЕННЯМ НА КОМУТОВАНИХ КОНДЕНСАТОРАХ

З.Ю. Готра

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри*

Контактний тел.: (0322) 58-26-03

E-mail: zhotra@polynet.lviv.ua

Р.Л. Голяка

Доктор технічних наук, професор*

Контактний тел.: (0322) 58-26-03

E-mail: holyaka@yahoo.com

Т.А. Марусенкова

Аспірант*

Контактний тел.: (0322) 58-26-03

E-mail: tetyana.marus@gmail.com

В.Ю. Ільканич

Аспірант*

Контактний тел.: (0322) 58-26-03

E-mail: ilkanych.vika@gmail.com

*Кафедра електронних приладів

Національний університет «Львівська політехніка»

вул. Степана Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013

І.М. Годинюк

Аспірант**

Контактний тел.: (037) 24-24-36

E-mail: wanhod@i.ua

О.В. Бойко

Кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри

Кафедра медичної інформатики

Львівський національний медичний університет

вул. Пекарська, 69, м. Львів, Україна, 79010

Контактний тел.: (032) 276-78-08

E-mail: bojko@ukr.net

В.В. Лесінський

Асистент**

Контактний тел.: (037) 24-24-36

**Кафедра радіотехніки та інформаційної безпеки

Чернівецький національний університет ім. Юрія Федьковича

вул. Коцюбинського, 2, м. Чернівці, Україна, 58012

Представлені нові підходи стабілізації режимів роботи гальваномагнітних перетворювачів пристроїв вимірювання магнітного поля на інтегральних структурах латеральних магніотранзисторів. Основними результатами роботи є схемні рішення мікропроцесорних сигнальних перетворювачів часового типу на комутованих конденсаторах в колекторних колах магніотранзистора

Ключові слова: сенсор магнітного поля, магніотранзистор, стабілізація

Представлены новые подходы стабилизации режимов работы гальваномагнитных преобразователей устройств измерения магнитного поля на интегральных структурах латеральных магнитотранзисторов. Основными результатами работы есть схемные решения микропроцессорных сигнальных преобразователей временного типа на коммутированных конденсаторах в коллекторных цепях магнитотранзистора

Ключевые слова: сенсор магнитного поля, магнитотранзистор, стабилизация

1. Вступ

Магніотранзистори є одним з сучасних класів сенсорів магнітного поля [1, 2]. Їх характеризує висока магнітна чутливість, простота виконання в складі інтегральних схем, низьке енергоспоживання та можливість багатofакторного керування режимами роботи.

В складі МДН (Метал-Діелектрик-Напівпровідник) сенсори магнітного поля базуються на структурах МДН транзисторів з розщепленим стоком, а в складі біполярних інтегральних схем, відповідно, – на структурах біполярних транзисторів з розщепленим колектором. Такі структури називають двоствокковими чи двоколекторними магніотранзисторами [3, 4].

Розрізняють вертикальні (типово, p-p-n типу провідності) та латеральні (типово, p-n-p типу провідності) біполярні структури двоколекторних магнітотранзисторів. Вісь чутливості за магнітним полем вертикальних магнітотранзисторів є паралельною, а латеральних – перпендикулярною до поверхні кристала [5, 6].

Вданій роботі розглядаються нові підходи стабілізації режимів роботи гальваноманітних перетворювачів пристроїв вимірювання магнітного поля на інтегральних структурах латеральних магнітотранзисторів. У основу роботи покладена схематехніка сигнального перетворювача на комутованих конденсаторах. Ця схематехніка передбачає перехід з традиційних лінійних сигнальних перетворювачів неперервної дії на перетворювачі з часовою детермінацією, що реалізуються на динамічно комутованих конденсаторах [7, 8]. Перехід з переважно резистивних кіл сигнального перетворення на кола з комутованими конденсаторами відкриває нові можливості, зокрема, як це має місце в сигма-дельта модуляторах, забезпечується ефективно перетворення сигналу у двійковий код без використання традиційних аналого-цифрових перетворювачів [9].

Використання схематехніки на комутованих конденсаторах в сигнальних перетворювачах сенсорних пристроїв на магнітотранзисторах має особливу актуальність – на відміну від інших гальваноманітних перетворювачів, зокрема, холлівських сенсорів, інформативними сигналами магнітотранзисторів є не потенціальні, а струмові кола. Відтак, заміна традиційного резистивного навантаження колекторних кіл магнітотранзисторів на конденсатори дозволяє реалізувати часовий метод вимірювального перетворення. Інформативною величиною такого вимірювального перетворення є тривалість часу, протягом якого напруга на конденсаторі навантаження колекторного кола магнітотранзистора досягне заданого порогового рівня. Цифровий код формується лічильником, який керується компаратором рівня напруги та підраховує кількість тактових імпульсів, протягом яких відбувається заряд конденсатора.

2. Структура та принцип функціонування перетворювачів

Фотографія інтегральної структури магнітотранзистора, що використовується в ролі первинного перетворювача пристрою вимірювання магнітного поля, наведена на рис. 1а, а його еквівалентна схема (електрична схема заміщення) – на рис. 1б. Структура магнітотранзистора представляє собою чотири ортогонально розвернені двоколекторні p-n-p транзистори, конструкція яких є оптимізована з точки зору високої магнітної чутливості. Емітерна область (Е) магнітотранзистора формується між двома колекторними областями (C₁, C₂), різниця струмів яких є функцією обумовленого силою Лоренца відхилення носіїв заряду і служить інформативним сигналом сенсора

магнітного поля. Підвищення коефіцієнта передачі струму структури магнітотранзистора забезпечується дрейфовим полем бази і реалізується двома базовими електродами (B₁, B₂).

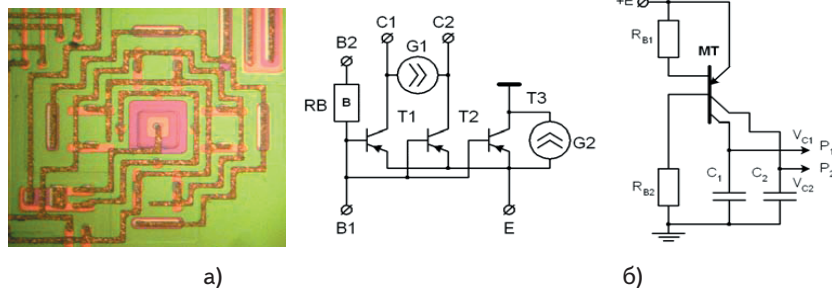


Рис. 1. Інтегральна структура магнітотранзистора (а) та його еквівалентна схема (б)

На еквівалентній схемі показано два транзистори T₁, T₂, що визначають струми магнітотранзистора при відсутності магнітного поля, та функціонально кероване джерело G₁, що визначає перерозподіл струмів між двома колекторами структури при дії на неї магнітного поля. Крім того, показано транзистор T₃ та функціонально кероване джерело G₂, що визначають паразитний вплив на вихідні струми магнітотранзистора підкладки інтегральної структури. Ця підкладка, в біполярних інтегральних схемах – p-типу провідності, функціонує в ролі колектора паразитного транзистора, що екстрагує носії заряду з області бази, а відтак, зменшує колекторні струми магнітотранзистора. Омична структура між двома виводами бази B₁ та B₂ показана резистором R_B, опір якого модулюється магнітним полем B.

Корисний з точки зору типових одновимірних сенсорів магнітного поля перерозподіл струму між колекторами латерального магнітотранзистора базується на відхиленні траєкторії руху інжектованих емітером носіїв заряду, що дрейфують в електричному полі бази. У відповідності до фізичних основ взаємодії рухомих носіїв заряду з магнітним полем, відхилення відбувається в перпендикулярній до вектора індукції поля площині. Для наведеної на рисунку структури величина перерозподілу струму між колекторами C₁ та C₂ визначається проекцією індукції поля на нормаль (перпендикуляр) до поверхні інтегральної структури – B_Z. Паразитний перерозподіл струму обумовлений відхиленням носіїв у перпендикулярній до поверхні інтегральної структури площині. Це відхилення обумовлене дією паралельної до площини структури та перпендикулярної до вектора електричного поля (вісь X) базової області проекції вектора поля – B_Y.

Вказаний механізм магнітної модуляції процесів переносу струму в структурах інтегральних магнітотранзисторів дозволяє отримати інформативні сигнали для визначення двох ортогональних проекцій вектора магнітного поля B_Z = B cos α, B_Y = B sin α, де α – кут нахилу між вектором індукції поля B та нормаллю до поверхні інтегральної структури (нормаль N в даному випадку співпадає з віссю Z системи координат).

Принцип функціонування сигнального перетворювача двокоординатних сенсорів магнітного поля на

латеральних магнітотранзисторах передбачає вимірювання колекторних струмів I_{C1} , I_{C2} . Різницею та сумарне значення цих струмів використовується для розрахунку V_z та V_y проекції вектора індукції поля.

Вимірювання струмів I_{C1} , I_{C2} проводиться шляхом визначення часу заряду конденсаторів колекторних кіл магнітотранзистора. Елементарна схема сигнального перетворювача з ємнісним навантаженням колекторних кіл магнітотранзистора наведена на рис. 1в. Струм базового кола магнітотранзистора МТ задається резисторами R_{B1} , R_{B2} . Інформативними величинами процесу вимірювання є часова залежність напруг V_{C1} , V_{C2} на конденсаторах C_1 , C_2 . Схема керується мікропроцесором (мікроконтролером), лічильник якого забезпечує безпосереднє формування двійкового коду без використання аналого-цифрових перетворювачів.

Типові епюри напруг у процесі вимірювального перетворення наведені на рис. 2.

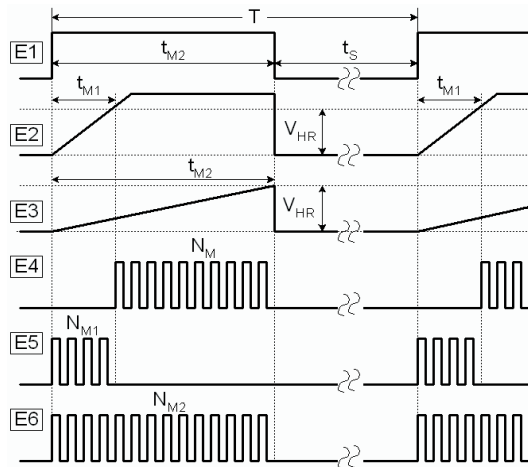


Рис. 2. Типові епюри напруг у процесі вимірювального перетворення

Процес вимірювання відбувається циклічно з періодом T (епюра E1). Тривалість пауз t_s між вимірюваннями визначається кількістю вимірювань за одиницю часу. Тривалості t_{M1} (епюра E2) та t_{M2} (епюра E3) процесів заряду конденсаторів до заданого порогового рівня V_{HR} визначаються виразами:

$$t_{M1} = \frac{C_1 \cdot V_{HR}}{I_{C1}}, \quad t_{M2} = \frac{C_2 \cdot V_{HR}}{I_{C2}}.$$

Можливі декілька алгоритмів реалізації процесу вимірювання інформативних сигналів. Зокрема, для визначення V_z проекції вектора індукції магнітного поля необхідно виміряти різницеву складову сигналу. Для цього використовують лише один лічильник, який підраховує кількість тактів N_M між моментами досягнення напругою на конденсаторах C_1 , C_2 порогового рівня V_{HR} (епюра E4). Для вимірювання V_y проекції необхідно виміряти сумарну складову сигналу.

Для цього використовують два лічильники, які підраховують кількість тактів N_{M1} та N_{M2} (епюри E5, E6, відповідно). Універсальний алгоритм вимірювання різницевої та сумарної складових інформативних сигналів можна реалізувати і з допомогою

лише одного лічильника. Спочатку цей лічильник підраховує кількість імпульсів N_{M1} , протягом яких відбувається заряд конденсатора з меншим часом заряду, а тоді, після обнулення, підраховує кількість імпульсів $N_M = N_{M2} - N_{M1}$. Різницевою складовою сигналу такого вимірювання є значення N_M , а сумарною: $2N_{M1} + N_M$.

3. Стабілізації режимів роботи перетворювачів

В даній роботі представлено нове схемне рішення високостабільного магнітотранзисторного сенсора з часовим перетворенням на комутованих конденсаторах, яке забезпечує стабілізацію роботи пристрою при дрейфі напруги живлення. Таке рішення має особливу актуальність в низьковольтних пристроях з малопотужними джерелами живлення (акумулятори, сонячні батареї тощо).

У відповідності до запропонованого рішення таке перетворення здійснюється без прецизійних аналого-цифрових перетворювачів та базується на вимірюванні часу заряду конденсаторів, що служать динамічним навантаженням колекторних кіл магнітотранзисторів.

Структурна схема базового варіанту розробленого сигнального перетворювача (рис. 3) складається з формувача протифазних напруг на OA_1 та T_1 , кола стабілізації емітерного струму магнітотранзистора МТ на OA_2 , опорної інтегруючої ланки часового перетворення на OA_3 , конденсаторів динамічного навантаження C_1 , C_2 та трьох компараторів CM_1 , CM_2 , CM_3 .

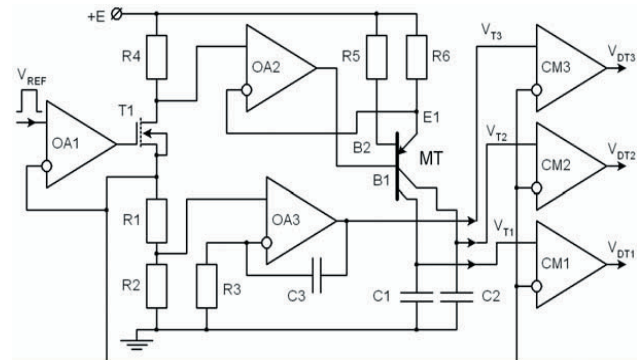


Рис. 3. Структурна схема сигнального перетворювача

Висока стабільність роботи при зміні напруги живлення забезпечується сигнальним перетворенням, яке ініціюється імпульсом опорної напруги V_{REF} . Керування процесом вимірювання, формування тактових імпульсів, вимірювання часових інтервалів заряду конденсаторів тощо здійснюється на основі програмованих систем на кристалі – PSoC (Programmed System on Chip) компанії Cypress [10].

Початкове перетворення опорної напруги здійснюється формувачем протифазних напруг на операційному підсилювачі OA_1 та польовому транзисторі T_1 . Внаслідок дії від'ємного зворотного зв'язку напруга на виході транзистора T_1 рівна опорній напрузі V_{REF} , а падіння напруги V_{R4} на резисторі R_4 в колі витоку становить

$$V_{R4} = \frac{V_{REF}R_4}{R_1 + R_2}.$$

Саме ця напруга стабілізує роботу магнітотранзистора, що відбувається внаслідок стабілізації його емітерного струму та забезпечується колом від'ємного зворотного зв'язку на операційному підсилювачі ОА₂. Інформативними сигналами магнітного поля є часові інтервали t_{C1} та t_{C2} заряду конденсаторів C₁, C₂ колекторних кіл магнітотранзистора. Ці часові інтервали формуються відповідними перемиканнями компараторів СМ₁, СМ₂.

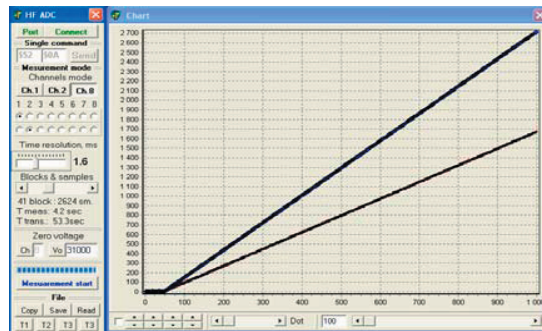
Частина сформованої на витоці транзистора T₁ напруги, що ділиться резистивним подільником R₁, R₂, використовується для формування вхідної напруги опорної інтегруючої ланки часового перетворення на операційному підсилювачі ОА₃ та ланці R₃, C₃. На виході ОА₃ формується лінійно наростаюча напруга, час t_{REF} наростання якої до певного порогового рівня V_{T0} не залежить від напруги живлення схеми та визначається виразом

$$t_{REF} = \frac{C_3(V_{T0} - V_{R3})}{I_{C3}},$$

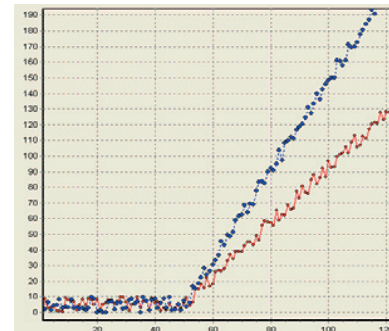
$$\text{де } V_{R3} = \frac{V_{REF}R_2}{R_1 + R_2}, I_{C3} = \frac{V_{R3}}{R_3}.$$

Опорний часовий інтервал t_{REF} формується компаратором СМ₃.

Для відладки та дослідження стабільності вимірювального перетворювача розроблений апаратно-програмний комплекс, вид робочого вікна якого наведено на рис. 4а, а приклад результату дослідження – на рис. 4б. В результаті проведених експериментальних досліджень було встановлено, що при зміні напруги живлення вимірювального перетворювача в межах від 3В до 5В (типові межі роботи низьковольтної апаратури) нестабільність вимірювання магнітного поля не перевищує 1%, що в повній мірі відповідає вимогам поставленої в роботі задачі.



а)



б)

Рис. 4. Робоче вікно програмного забезпечення (а) та результат експериментального дослідження вихідного сигналу (б)

4. Висновки

В роботі розглянуті нові підходи у побудові сенсорних пристроїв магнітного поля на інтегральних структурах латеральних магнітотранзисторів. Основним результатом є нове схемне рішення високостабільного магнітотранзисторного сенсора з часовим перетворенням на комутованих конденсаторах, яке забезпечує стабілізацію роботи пристрою при дрейфі напруги живлення. Розроблений апаратно-програмний комплекс по відладці та дослідженню стабільності вимірювального перетворювача.

Література

1. R.S. Popovic, Hall Effect Devices. Second edition. Adam Hilger, Bristol, Philadelphia and New York, 2002.
2. Мікроелектронні сенсорні пристрої магнітного поля. За ред. Готри З.Ю. / Большакова І.А., Гладун М.Р., Голяка Р.Л., Готра З.Ю., Лопатинський І.Є., Потенцік Є., Сопільник Л.І. - Львів: Вид. Національного університету "Львівська політехніка", 2001.
3. James Lenz and Alan S. Edelstein. Magnetic Sensors and Their Applications // IEEE Sensors Journal. – 2006. - Vol. 6. No. 3. PP.631-649.
4. Chana Leepattarapongpan, Toempong Phetchakul. Magnetotransistor Based on the Carrier Recombination-Deflection Effect // IEEE Sensors Journal. – 2010. Vol. 10, No. 2. PP. 294 – 299.
5. Marioara Avram, Otilia Neagoe, Cecilia Codreanu, Corneliu Voitincu, Monica Simion. An optimised bipolar lateral magnetotransistor // International Semiconductor Conference, CAS'2002. - 2002. Proceedings. Vol.1. PP. 83 – 86.
6. Toempong Phetchakul, Panyakorn Sottip. The Deflection Length and Emitter Width on Sensitivity of Magnetotransistor // 6th IEEE International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems. Kaohsiung, Taiwan. – 2011. Proceedings. PP.359-362.
7. Аналогова мікросхемотехніка вимірювальних та сенсорних пристроїв [Текст]/ За ред. Готри З., Голяки Р. - Львів: Вид. Державного університету "Львівська політехніка", 1999. -364с.
8. Schmalzel J.L., Rauth D.A. Sensors and signal conditioning // Instrumentation & Measurement Magazine, IEEE. 2005. – Vol. 8. № 2.– PP. 48- 53.
9. Patrick J. Quinn, Arthur H.M. van Roermund. Switched-capacitor techniques for high-accuracy filter and ADC design. Springer 2007 - 244 p.
10. Robert Ashby. Designer's Guide to the Cypress PSoC™. Elsevier Inc. 2005. 273 p.

Abstract

The article concerns the new construction principles and circuitry of galvanomagnetic sensors with time conversion. The objective of the research is to stabilize modes of a signal transducer of the sensor of magnetic field based on the lateral double-collector magnetic transistor. The usage of the circuitry on the switching capacitors in the signal transducer of the sensor devices on the magnetic transistors has the particular relevance - unlike other galvanomagnetic transducers, including Hall sensors, the informative signals of magnetic transistors are not potential, but current circles. Thus, the replacement of the traditional resistive load of the collector circles of the magnetic transistors on the capacitors allows the realization of the time method of the measuring conversion.

The informative value of the measuring conversion is duration of time, during which voltage on the load capacitors of the collector circles of the magnetic transistors reaches a given threshold level. A counter, controlled by a comparator of voltage level, forms a digital code, which counts the number of the clock pulses, during which the capacitor is being charged.

The main result is the new circuit solution of the high stable magnetic transistor sensor with time transformation on the switching capacitors, which stabilizes the operation of the device at the voltage drift. The hardware-software complex for the adjustment and examination of stability of the measuring transducer was designed. The results can be used in the magnetic field sensors that meet the requirements of the modern low-voltage energy efficient electronics.

Keywords: magnetic field sensor, magnetic transistor, stabilization

Приведено результати впливу гальмівних гамма-квантів, високоенергетичних електронів і гамма-нейтронів на електричні та фотоелектричні властивості фотоперетворювача $\text{In}_2\text{O}_3\text{-p-InSe}$. Запропоновано фізичну модель електронних процесів, що відбуваються у даній структурі при впливі різних типів опромінення. Здійснено порівняння з тестовим сонячним елементом $\text{ITO-SiO}_2\text{-n-Si}$

Ключові слова: шаруватий кристал, селенід індію, гамма-випромінювання, електронне випромінювання, нейтронне випромінювання

Приведены результаты влияния тормозных гамма-квантов, высокоэнергетических электронов и гамма-нейтронов на электрические и фотоэлектрические свойства фотопреобразователя $\text{In}_2\text{O}_3\text{-p-InSe}$. Предложена физическая модель электронных процессов, которые происходят в данной структуре при влиянии разных типов облучений. Осуществлено сравнение с тестовым солнечным элементом $\text{ITO-SiO}_2\text{-n-Si}$

Ключевые слова: слоистый кристалл, селенид индия, гамма-излучение, электронное излучение, нейтронное излучение

УДК 621.315.292; 621.382.232

СТІЙКІСТЬ ФОТО- ПЕРЕТВОРЮВАЧА $\text{In}_2\text{O}_3\text{-p-InSe}$ ДО РІЗНИХ ВИДІВ ОПРОМІНЕННЯ

О. М. Сидор

Кандидат фізико-математичних наук, науковий співробітник
Чернівецьке відділення
Інститут проблем матеріалознавства ім.
І.М.Францевича НАН України
вул. І. Вильде, 5, м. Чернівці, Україна, 58001
Контактний тел.: (0372) 52-51-55
E-mail: chimsp@ukrpost.ua

1. Вступ

Існуючі на ринку кремнієві фотодіоди у більшості випадків деградують вже при порівняно помірних дозах радіації.

У цьому аспекті значний інтерес викликають анізотропні кристали групи A^3B^6 , зокрема, селенід індію. Ван-дер-ваальсовий зв'язок між його шарами дозво-

ляє отримувати підкладки з малою густиною обірваних зв'язків ($<10^{10} \text{ см}^{-2}$) та довільної товщини (навіть мікронної), що у поєднанні з простою технологією термічного окислення дає можливість створювати поверхнево-бар'єрні діоди з високими питомими характеристиками [1]. Не менш важливим є факт існування в шаруватих кристалах величезної густини власних дефектів (до 10^{18} см^{-3}), що є ключовим моментом для