

ФІЗИКА, ТЕХНОЛОГІЯ ТА ВИРОБНИЦТВО ЕЛЕМЕНТІВ, ПРИЛАДІВ ТА СИСТЕМ ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ

УДК 621.382

Гладун М.Р., Голяка Р.Л., Готра З.Ю., Лопатинський І.Є.*, Потенці Є.**
ДУ “Львівська політехніка”, кафедра електронних приладів
* ДУ “Львівська політехніка”, кафедра фізики
** Ряшівська політехніка, кафедра електронних систем

АЛГОРИТМ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА СТРУКТУРА ПРОГРАМОВАНОГО КОРЕКТОРА ХАРАКТЕРИСТИК ОДНОКРИСТАЛЬНИХ СЕНСОРНИХ ПРИСТРОІВ

© Гладун М.Р., Голяка Р.Л., Готра З.Ю., Лопатинський І.Є., Потенці Є., 2000

Подано результати розробки програмованого коректора характеристик для однокристальних сенсорних пристроїв. Розроблено новий алгоритм функціонування коректора, що базується на синтезі коректуючих струмів програмованою матрицею джерел струму. Принциповими рішеннями розробленої матриці є двійково-зважене масштабування струмів на латеральних р-п-р транзисторах та спеціальний алгоритм декодування комірок матриці.

The results of elaboration of programmable characteristics corrector for on-chip sensor devices are presented in this paper. New algorithm of corrector functioning is elaborated. This algorithm is based on synthesis of correcting current by programmable array of current sources. The principal solutions of elaborated array are bit-power scaling of current on lateral p-n-p transistors and special algorithm for array cells decoding.

Вступ

На сучасному етапі розвитку сенсорної та вимірювальної техніки визначились наявні процеси поступового переходу від первинного перетворювача з нормованими характеристиками до інтегральних вимірювальних пристроїв з нормованими вихідними характеристиками [1-2]. До складу таких пристроїв, крім первинного перетворювача, входять стабілізатор режиму роботи перетворювача, підсилювачі, елементи корекції, при цьому для споживача характеристики первинного перетворювача можуть бути невизначені [3-4]. Очевидно, що в такому варіанті відсутня необхідність двоступеневого корегування характеристик – окремо для первинного перетворювача, окремо для схем обробки сигналу, що і забезпечує значне зменшення собівартості апаратури. Конструктивно такі вторинні перетворювачі, чи вимірювальні пристрої загалом, здебільшого реалізують у вигляді гібридних ІС.

Однак з переходом на твердотільне виконання пристроїв, де відсутні зовнішні елементи підгонки, задача корекції значно ускладнюється. Враховуючи, що перехід на однокристальне виконання є, задача створення однокристальних сенсорних пристроїв з нормованими характеристиками надзвичайно важлива.

Принциповими передумовами створення функціонально завершених однокристальних сенсорних пристроїв є можливість суміщення технології виготовлення первинних перетворювачів температури, магнетного поля, тиску, освітлення, тощо та схем обробки сигналу [5]. За основу технології виготовлення таких пристроїв здебільшого приймають технологію біполярних ІС. Вже освоєно серійний випуск ряду однокристальних магнето-, фото-, та термочутливих пристроїв [6]. Такі схеми характеризуються високою чутливістю, мінімальною собівартістю, мінімальним енергоспоживанням, значною універсальністю. Однак проблема відтворюваності характеристик перетворення, забезпечення високих класів точності однокристальних сенсорних пристроїв на нинішньому етапі є практично не вирішеною.

Лазерні методи підгонки номіналів в технології біполярних ІС є значною мірою проблематичні. Крім того, вплив лазерного випромінювання може негативно вплинути на первинний перетворювач. Очевидною є також проблема значного зростання собівартості кристала сенсорного пристрою при введенні в технологічний процес лазерної підгонки резисторів. Резистори біполярних ІС – це, переважно, дифузійні області з заданим поверхневим опором, що робить неможливим зміну їх номіналу після операції легування. Тонкоплівкові резистори в технології біполярних ІС є також небажаними, а процес лазерної корекції геометрії резистора призводить до руйнування діелектричного шару під резистором.

Отже, корекція характеристик однокристальних магнетосенсорних пристроїв вимагає створення нових підходів до цієї проблеми, передбачає розробку відповідних принципів побудови вузлів корекції, їх схемотехнічного забезпечення тощо.

Алгоритм функціонування коректора

В основу розробленого алгоритму корекції характеристик однокристальних магнетосенсорних пристроїв покладена можливість синтезу необхідної величини коректуючого струму (напруги) відповідним керуючим сигналом. Алгоритм корекції та відповідна схема реалізації задовольняє вимоги повної структурної та технологічної сумісності з біполярним ІС середнього та високого рівня інтеграції.

Базовим елементом коректора є програмований синтезатор струму. Функціонально синтезатор близький до цифроаналогових перетворювачів з вхідним кодом, що сформовано програмованою логічною матрицею. Однак, на відміну від останньої, розроблений синтезатор струму корекції істотно простіший і технологічно сумісний з біполярними ІС. Так, наприклад, синтезатор не вимагає застосування МДН ключів, дворівневої комутації елементів чи двійково-зваженої лінійки резисторів, що необхідні для реалізації цифроаналогових перетворювачів.

Для зменшення кількості розрядів цифрової частини синтезатора, а також і кількості контактних площадок кристала ІС в синтезаторі передбачена заміна стандартного двійкового коду на видозмінений код. Застосування нестандартного коду не пов'язано з проблемою несумісності з цифровими ІС, оскільки програмування синтезатора відбувається одноразово в процесі виготовлення кристала ІС і надалі під час випробувань, експлуатації, тощо перепрограмування не передбачається.

У базовому варіанті синтезатора передбачено формування двох значень коректуючих струмів – першого для компенсації адитивної, другого – для компенсації мультиплікативної похибок перетворювача. У разі необхідності кількість значень коректуючих струмів може бути збільшена або зменшена. Крок дискретизації, що визначається розрядністю син-

тезатора, також може змінюватися відповідно до допустимих значень неточності перетворювача. У загальному випадку величину синтезованого струму визначають як:

$$I_c = K_0 \cdot 2^0 \cdot I_0 + K_1 \cdot 2^1 \cdot I_0 + K_2 \cdot 2^2 \cdot I_0 + \dots + K_{n-1} \cdot 2^{n-1} \cdot I_0 + K_n \cdot 2^n \cdot I_0, \quad (1)$$

де I_0 – значення опорного струму (крок дискретизації); $K_0, K_1, K_2, \dots, K_{n-1}, K_n$ – коефіцієнти системи числення, що визначають величину струму, $K_i \in \{0;1\}$

Значення коефіцієнтів, що визначають величину струму, задаються відповідними елементами програмування - зворотно-зміщений емітерний р-п перехід інтегральної транзисторної структури певної геометрії.

За наявності незруйнованого зворотно-зміщеного р-п переходу певної комірки забезпечується присутність у вихідному струмі синтезатора відповідної цій комірці величини струму. За наявності незворотного пробою зворотно-зміщеного р-п переходу відповідна двійково-зважена складова струму зашунтовується на нульовий потенціал схеми, тобто ця складова відсутня у вихідному струмі синтезатора.

Структурна реалізація синтезатора

Функціональна схема синтезатора наведена на рис. 1.

Кожна комірка синтезатора містить джерела струму, величина якого є відповідним членом двійково-зваженого ряду $I_{11}, I_{12}, \dots, I_{1n}, I_{21}, I_{22}, \dots, I_{2n}, \dots, I_{m1}, I_{m2}, \dots, I_{mn}$, програмовані ключі (PS) та відповідні їм дешифратори адреси (DA), діоди розв'язки (D_j).

Струм відповідних джерел через діоди подається на вихідну шину, формуючи вихідний струм i -ої матриці синтезатора I_{ci} , наприклад, першої I_{c1} . При розімкненому програмованому ключі PS струм відповідного йому генератора струму подається на вихідну шину. Розв'язка між замкненим програмованим ключем та вихідною шиною забезпечується діодами D_j . Дешифратори адреси DA, крім функції дешифрування, формують або передають з адресних шин сигнал, необхідний для програмування ключів.

Принциповою відмінністю розробленого алгоритму побудови синтезатора є можливість значної дискретизації величини струму при мінімальних затратах площі кристала та кількості контактних виводів дешифрування. Нова якість отримана завдяки використанню двійково-зваженого ряду струмів, формування яких відбувається згрупованими у двовимірну матрицю відповідними комірками. На відміну від відомих цифроаналогових перетворювачів на двійково-зважених резисторах, розроблений синтезатор не потребує фізичної наявності елементів, наприклад, резисторів, номінали яких перекривають весь ряд $(2^0 \dots 2^n) \cdot R_0$, де R_0 – крок дискретизації.

Заміна двійково-зваженого ряду резисторів на ряд струмів з відповідним групуванням генераторів струму у двовимірну матрицю дає змогу уникнути проблеми формування в кристалі елементів з номіналами, що перекривають весь ряд.

Проблему розв'язують послідовним прецизійним масштабуванням струму. Так, прийнявши, що функцію генераторів струму виконують згруповані по рядах матриці прецизійні струмові дзеркала, живлення задаючих кіл струмових дзеркал може відбуватися відповідно масштабованими струмами. Очевидно, що струмові дзеркала в різних стовпцях матриці повинні характеризуватись різними коефіцієнтами відбивання струму. Ці коефіцієнти є послідовними членами фрагмента двійково-зваженого ряду, однак для всіх рядів матриці використовується один і той самий фрагмент ряду. Масштабування струмів для кожного з рядків матриці становить величину з двійково-зваженого ряду, що визначається як $K_m = 2^{n+1} \cdot K_{m-1}$, де n – кількість стовпців матриці. Отже, розроблений принцип побудови

синтезатора позбавляє необхідності застосування всього діапазону номіналів елементів, що відповідають двійково-зваженому ряду. При цьому, завдяки відповідному масштабуванню заданих струмів по рядках матриці, елементи в кожному з стовпців матриці тотожні.

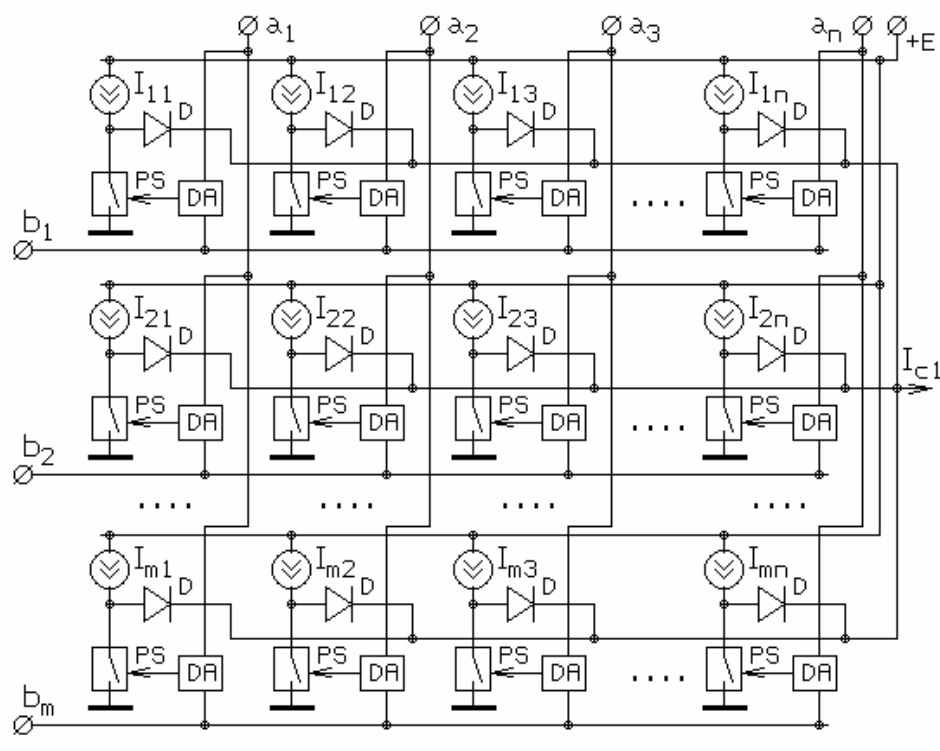


Рис. 1. Функціональна схема програмованого синтезатора струму

Розглянемо особливості схемної реалізації окремих комірок матриці. Крім безпосередньо програмованого ключа, кожна комірка містить дешифратор адреси, прецизійний генератор струму та елементи розв'язки. На рис. 2 показано електричну схему однієї комірки з адресою ij та спільну частину для j -го рядка матриці.

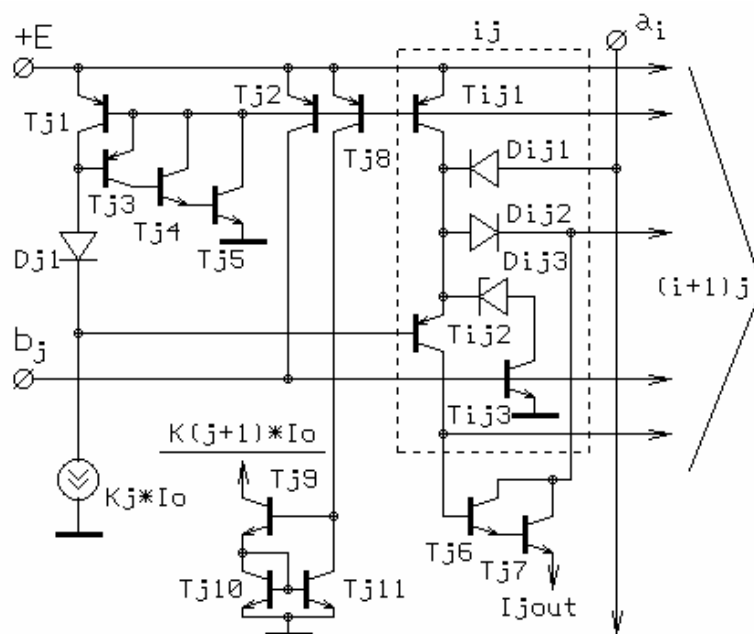


Рис. 2. Електрична схема однієї комірки з адресою ij та спільна частина для j -го рядка матриці

До внутрішніх елементів кожної комірки входять: масштабоване джерело струму на транзисторі T_{ij1} з активною площею в 2^{i-1} разів більшою за площу задаючого транзистора, транслятор струму на T_{ij2} , що спільно з діодом розв'язки D_{ij2} , забезпечує можливість запаралелення струмових кіл кожної з комірок, елемент програмування на стабілітроні D_{ij3} , дешифратор стовпця матриці на діоді D_{ij1} та рядка матриці на транзисторі T_{ij3} . До зовнішніх елементів, що є спільними для кожного рядка матриці, входять задаюче джерело струму $K_j \cdot I_0$, задаючий транзистор струмових дзеркал T_{j1} , транзистори формування базових струмів струмових дзеркал T_{j3} , T_{j4} , T_{j5} , транзистор зміщення шини дешифрування рядка матриці T_{j2} , колектори вихідних струмів комірок рядка на транзисторах T_{j6} , T_{j7} та діод зміщення D_{j1} , транзистори масштабування наступного рядка матриці $T_8 - T_{11}$. Активна площа транзистора T_8 вибрана так, що вихідний струм струмового дзеркала $T_9 - T_{11}$ становить $K_{j+1} \cdot I_0$.

В основу функції масштабування струму покладено схему струмового дзеркала. Спільний для всіх комірок рядків матриці задаючий транзистор струмового дзеркала T_{j1} та вихідні транзистори T_{ij1} в кожній з комірок характеризуються відповідно до двійково-зваженого ряду відношеннями активних площ структури. Вказані транзистори забезпечують відповідне для кожної комірки матриці масштабування струму. Однак, як відомо, елементарні струмові дзеркала не забезпечують прецизійності роботи. Для забезпечення високої точності роботи струмового дзеркала в режимі масштабування струму в схему введено ряд додаткових елементів:

- Введено транзистори T_{j3} , T_{j4} , T_{j5} , що формують базові струми транзисторів струмових дзеркал T_{j1} , T_{ij1} , а також транзистори T_{j2} зміщення шини дешифрування рядка матриці. Базові струми транзисторів T_{ij1} відносно колекторного струму задаючого транзистора T_{j1} є значними. Це викликано значною кількістю цих транзисторів в синтезаторі, особливо при наявності декількох зшитих по рядках матриць, а також фактом, що робочі струми транзисторів T_{ij1} відносно T_{j1} у відповідну кількість разів масштабовані.
- Застабілізовано та вирівняно колекторні напруги задаючого T_{j1} та вихідних T_{ij1} транзисторів струмового дзеркала діодом D_{j1} . При відповідній топології діода D_{j1} та заданій густині струму виконується умова $U(D_{j1}) = U_{eb}(T_{ij2})$, колекторні напруги транзисторів T_{j1} , T_{ij1} вирівнюються. Для реалізації схеми з похибкою, що не перевищує 0,01 %, різниця між колекторними напругами повинна не перевищувати декількох мілівольт.

Елементи програмування синтезатора реалізовані на стабілітронах D_{ij3} . Програмування відбувається через незворотний тепловий пробій стабілітронів. У початковому стані величиною струму через стабілітрон можна знехтувати. При цьому необхідно, щоб напруга живлення синтезатора не перевищувала напруги пробою стабілітрона, а струм просочування через стабілітрон був значно меншим за величину мінімального кроку дискретизації. Оптимальним значенням напруги живлення синтезатора, що формується стабілізатором напруги, є величина 5 В. Струм через стабілітрон до програмування, переважно, не перевищує значення $10^{-8} \dots 10^{-9}$ А.

Елементами дешифрування адреси комірки є діоди D_{ij1} по стовпцях і транзистори T_{ij3} по рядках матриці. В початковому стані струм через діод D_{ij1} не тече, а транзистор T_{ij3} перебуває в насиченому стані. Насичений стан забезпечується струмом транзистора T_{j2} .

Спрощена електрична схема сигнального тракту коректора наведена на рис. 3.

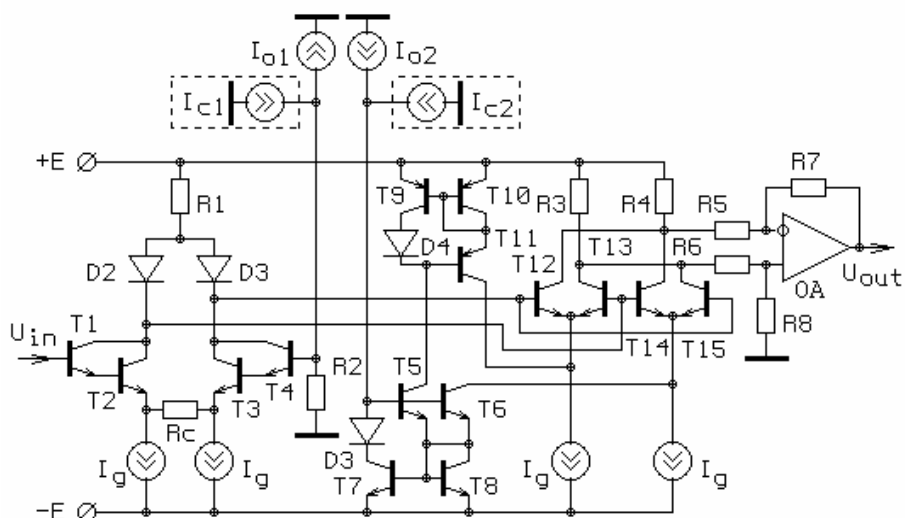


Рис. 3. Електрична схема сигнального тракту коректора

Значення вихідної напруги коректора становить

$$U_{out} = \frac{\alpha \cdot K_{диф.} \cdot R_0 \cdot (I_{o2} + I_{c2})}{R_c \cdot I_g} \cdot (U_{in} - (I_{c1} - I_{o1}) \cdot R_2). \quad (2)$$

Напруга вихідного сигналу прямо пропорційна до напруги збалансованого вхідного сигналу $U_{in} - (I_{c1} - I_{o1}) \cdot R_2$, що забезпечує компенсацію адитивної похибки, а масштабний коефіцієнт передачі схеми, окрім постійних величин $K_{диф.}$, R_0 , R_c , I_g , визначається величиною струму корекції $I_{o2} + I_{c2}$, тобто забезпечує можливість компенсації мультиплікативної похибки.

Висновки

Розроблено новий алгоритм функціонування коректора, що базується на синтезі коректуючих струмів програмованою матрицею джерел струму. Принциповими рішеннями розробленої матриці є двійково-зважене масштабування струмів на латеральних р-п-р транзисторах та спеціальний алгоритм декодування комірок матриці, що дозволяє мінімізувати кількість адресних шин та структурні затрати коректора і забезпечує компенсацію адитивної та мультиплікативної похибок перетворення сенсорних пристроїв.

[1] Bursky D. Digital ICs become the system as complexities increase // Electronic Devices. –1992. –No.24. –pp.66-70.

[2] Goodenough F. et al. The magic of analog design // Electronic Devices. –1992. –No.24. –pp.75-96.

[3] Уйбер У. Идея интеграции овладевает всей промышленностью // Электроника. – 1993. –№11-12. –С.17-88.

[4] Sockolow S., Wong J. High-accuracy analog needs more than op amps // Electronic Devices. –1992. –No.20. –pp.53-61.

[5] Gotra Z., Golyaka R., Kalita W., Gladoun M. Principles of high-sensitive magneto-controlled integrated circuit creation // XVIII ISHM-Poland Chapter Annual Conference, Warsaw, Poland 14-16 September, 1994, Proceedings. –pp.125-128.

[6] Z.Gotra, R.Golyaka, M.Gladoun, et al. Magnetic field scanner // XIX ISHM-Poland Chapter Annual Conference, Porabka-Kozubnik, Poland, 17-20 September 1995, Proceedings. –pp.185-188.