

РЕЗИСТИВНІ ДІЛЬНИКИ СТРУМУ ДЛЯ БАГАТОРОЗРЯДНИХ НАДЛИШКОВИХ ЦАП

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Анотація.

У статті розглянуті резистивні матричні дільники струму, які можуть застосовуватися в багаторозрядних цифроаналогових і аналогоцифрових перетворювачах з ваговою надлишковістю. Розглянуто запропоновані підходи щодо побудови секційних матричних дільників струму, в яких ваги розрядів у рамках секцій пропорційні вагам розрядів у двійковій системі числення, а надлишковість реалізується за допомогою резисторів зв'язку між секціями. Виведено аналітичні співвідношення для розрахунків значень резисторів зв'язку та кінцевих резисторів в даних дільниках для різних варіантів підбору зазначених типів резисторів. Дані рекомендації щодо їх застосування залежно від висунутих вимог.

Ключові слова: резистивні матричні дільники, ЦАП, вагова надлишковість.

Abstract.

The article discusses resistive matrix current dividers that can be used in multi-digit digital-to-analog and analog-to-digital converters with weight redundancy. The proposed approaches to constructing sectional matrix current dividers in which the weights of the digits within the sections are proportional to the weights of the digits in the binary number system, and the redundancy is realized using connection resistors between the sections are given. Analytical relations are derived for calculating the values of connection resistors and terminal resistors in these dividers for various options for selecting these types of resistors. Recommendations of their application, depending on the requirements are given.

Key words: resistive matrix dividers, DACs, weight redundancy.

Вступ

Резистивні матричні дільники струму широко застосовуються в цифрово-аналогових (ЦАП) та аналогово-цифрових (АЦП) перетворювачах [1, 3] для формування набору опорних струмів, які пропорційні вагам двійкової або іншої позиційної системи числення, яка застосовується. Але їх застосування обмежується характеристиками точності резисторів [2, 3]. У Вінницькому національному технічному університеті існує наукова школа [4, 5], що досліджує застосування надлишкових позиційних систем числення в АЦП та ЦАП. Це дає змогу досягти підвищення точності (або зниження вартості) та швидкодії [6, 7]. У статті розглядаються деякі аспекти побудови резистивних матричних дільників струму для цифрово-аналогових перетворювачів із ваговою надлишковістю.

Мета

Запропонувати підхід проектування резистивних секційних матричних дільників струму з цілочисловими відношеннями ваг розрядів, що призначені для багаторозрядних ЦАП із ваговою надлишковістю.

Розв'язання задач досліджень

Для розв'язання поставленої задачі пропонується використовувати секційний матричний дільник струму. Приклад такої схеми наведено на рис. 1

Вона містить k секцій, кожна з яких складається з m паралельно з'єднаних резисторів (R_2, \dots, R_m), а між секціями розташовано резистори зв'язку ($R_{зв1}, R_{зв2}, \dots$), і кінцевий резистор $R_{\perp 1}$, що заземлюється. За допомогою ключів, якими керують цифрові коди, розрядні струми під'єднуються або на землю, або на вхід операційного підсилювача, де за допомогою резистора R_m сумуються, масштабуються та перетворюються у вихідну напругу.

Виведемо основні відношення, що пов'язують значення струму та резисторів у схемі (рис. 1). Опори резисторів секції будуть дорівнювати R_1, R_2, \dots, R_m та опір всієї резистивної секції буде мати

значення:

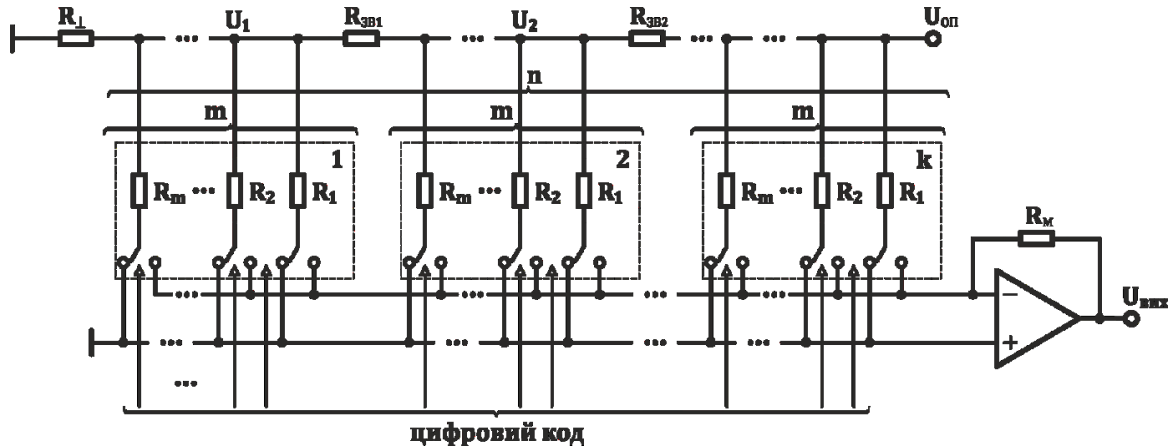


Рисунок 1. ЦАП на основі секційного матричного дільника струму.

$$R_C = 1 / \sum_{i=1}^m \frac{1}{R_i} \quad (1)$$

Сумарний струм, який протікає через R_C та $R_{\perp 1}$, дорівнює струму, який протікає через R_{3B1} :

$$\frac{U_1}{R_{\perp 1} \parallel R_C} = \frac{U_2}{R_{3B1} + R_{\perp 1} \parallel R_C} \Rightarrow \frac{U_2}{U_1} = \frac{R_{3B1}}{R_{\perp 1} \parallel R_C} + 1 \quad (2)$$

де \parallel - паралельне з'єднання резисторів.

Задамо коефіцієнт K_i як відношення струмів, що протікають через резистор R_m наступного каскаду та резистор R_1 попереднього каскаду, який можна використовувати для завдання надлишковості.

$$\frac{U_2}{R_m} = K_i \cdot \frac{U_1}{R_1} \Rightarrow \frac{U_2}{U_1} = K_i \cdot \frac{R_m}{R_1} \quad (3)$$

Із умови (2) та (3) враховуючи (1) отримаємо:

$$R_{3B1} = (R_{\perp 1} \parallel R_C) \cdot \left(K_i \cdot \frac{R_m}{R_1} - 1 \right) \quad (4)$$

$$R_{\perp 2} = R_{3B1} + R_{\perp 1} \parallel R_C = K_i \cdot \frac{R_m}{R_1} \cdot (R_{\perp 1} \parallel R_C) \quad (5)$$

Для кожного розряду відповідно до [6], рівень надлишковості δQ , обчислюється за формулою:

$$\delta Q = \sum_{j=1}^{i-1} Q_j - Q_i / \sum_{j=1}^i Q_j \quad (6)$$

Розглянемо випадок, коли струми, що протікають через резистори секції будуть пропорційні степеню двійки, тобто утворюють ряд $I_0, 2 \cdot I_0, 4 \cdot I_0, \dots, 2^n \cdot I_0$. У цьому випадку опори резисторів секції будуть дорівнювати $R_i = 2^{i-1} \cdot R$, де R - опір резистора старшого розряду. Відповідно до (1) опір секції визначається:

$$R_C = R / \sum_{i=1}^m \frac{1}{2^{i-1}} = \frac{2^{m-1}}{2^m - 1} \cdot R \quad (7)$$

Будемо вважати наявністю надлишковості ситуацію, коли струми, які протікають через резистор R_m наступного каскаду та резистор R_1 попереднього каскаду рівні, тобто у формулі (3) коефіцієнт K_i дорівнює 1. (Можна задати інші умови надлишковості, наприклад, якщо струм через резистор R_m

наступного каскаду прийняти рівним сумі струмів через резистори R_1 та R_2 попереднього каскаду, то коефіцієнт K_1 дорівнює $3/2$.

Розглянемо два підходи розрахунку резисторів $R_{\perp 1}$ та $R_{3B1}, R_{3B2}, \dots, R_{3Bn}$:

I спосіб. Резистор $R_{\perp 1}$ вибирають довільно. Тоді значення резистора R_{3B2} визначається за формулою (8), враховуючи значення обчисленні у (4), (5) та (7), причому замість $R_{\perp 1}$ приймають значення $R_{\perp 2}$, яке обчислюється за формулою (9). Інші значення R_{3B} обчислюються рекурсивно.

$$R_{3B1} = \frac{R_{\perp 1} \cdot 2^{m-1} \cdot R}{R_{\perp 1} \cdot (2^m - 1) + 2^{m-1} \cdot R} \cdot (2^{m-1} - 1), \quad (8)$$

$$R_{\perp 2} = \frac{R_{\perp 1} \cdot 2^{2 \cdot (m-1)} \cdot R}{R_{\perp 1} \cdot (2^m - 1) + 2^{m-1} \cdot R} \quad (9)$$

II спосіб. Значення $R_{3B1}, R_{3B2}, \dots, R_{3Bn}$ та відповідно, $R_{\perp 1}, R_{\perp 2}, \dots, R_{\perp n}$ рівні. З формул (4), (5) та (7) отримуємо:

$$R_{\perp} = \frac{2^{m-1} \cdot (2^m - 1)}{2^m - 1} \cdot R, \quad (10)$$

$$R_{3B} = \frac{(2^{m-1} - 1)^2}{2^m - 1} \cdot R \quad (11)$$

Обчислимо значення R_{3B1} та R_{3B2} для способу 1 за умов: $p=1, m=3,4$ та приймемо $R=10\text{кОм}$, $R_{\perp 1}=2^{m-1} \cdot R$.

Таблиця 1.

n	R_{3B1}	R_{3B2}
3	$(3/2)R = 15 \text{ кОм}$	$(4/3)R = 13.3 \text{ кОм}$
4	$(7/2)R = 35 \text{ кОм}$	$(56/17)R \approx 32.9 \text{ кОм}$

Результат моделювання схеми у MicroCap 11 для $m=4$ наведено на рис. 2а. Розрахуємо значення R_{\perp} та R_{3B} для способу 2 за умов: $p=1, m=3,4$ та приймемо $R=10\text{кОм}$.

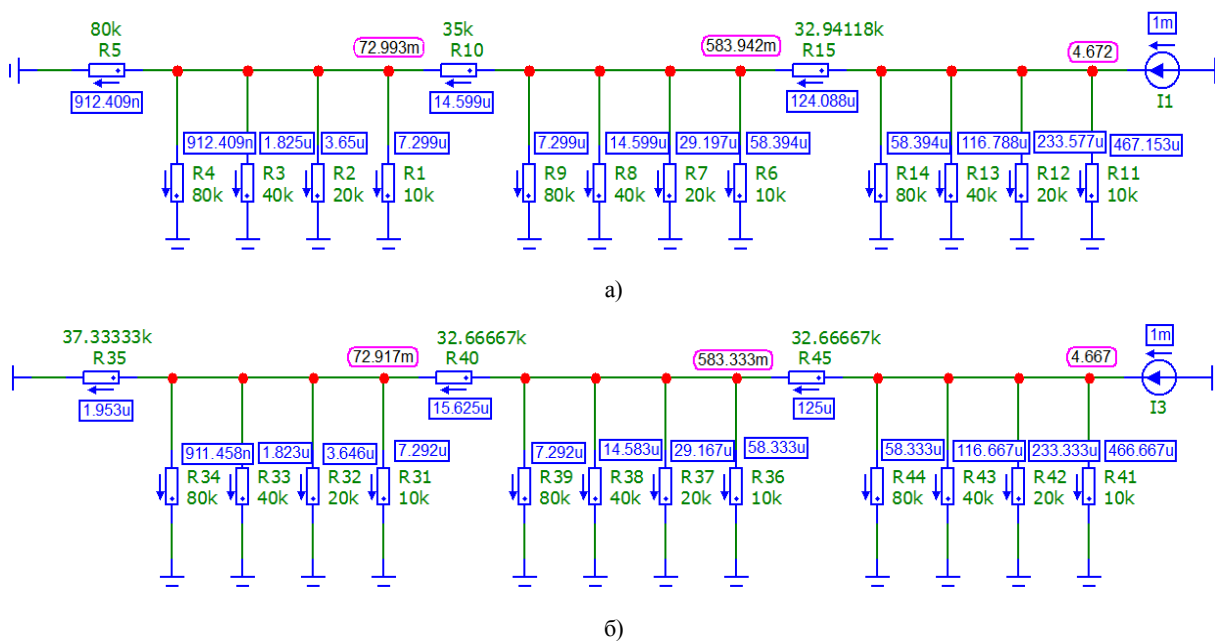


Рисунок 2. Результат моделювання секційного матричного дільника струму із двійково-зваженими резисторами: а) I спосіб; б) II спосіб;

Коефіцієнт надлишковості для резистивної решітки з трьома секціями для старшого розряду та $m=4$ відповідно до (6) становитиме 0,06 (6%).

Таблиця 1.

цп	R_{\perp}	R_{3B}
3	$(12/7)R=17.1 \text{ кОм}$	$(9/7)R=12.9 \text{ кОм}$
4	$(56/15)R=37.3 \text{ кОм}$	$(49/15)R=32.7 \text{ кОм}$

Результат моделювання схеми у MicroCap 11 для $m=4$ наведено на рис. 2б.

У розглянутих випадках побудови резистивних решіток значення R_{\perp} та R_{3B} отримуємо нецілими, але вимоги до їх точності можуть бути знижені шляхом використання самокалібровки. При використанні двійково-зважених резисторів не вимагається перетворення коду, що подається на ЦАП. Але коефіцієнт надлишковості сильно варіюється серед розрядів, що зменшує можливості калібровки окремих розрядів.

Висновки

Проаналізовані запропоновані підходи до побудови секційних матричних дільників струму, у яких ваги розрядів всередині секції пропорційні вагам розрядів у двійковій системі числення, а надлишковість задається вибором номіналів резисторів зв'язку між секціями та запропоновані рекомендації з їх проектування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Mosley J.D. Self-calibrating 16-bit A/D converter quarantees no missing codes to 50 kHz // EDN. – 1987. – vol. 32, № 2.
2. Шляндин В. М. Цифровые измерительные преобразователи и приборы / Шляндин В. М. – М. : Высшая школа, 1973. – 280 с.
3. Гнатек Ю.Р. Справочник по цифроаналоговым и аналогоцифровым преобразователям: Пер. с англ./ Под ред. Ю.А.Рюжина. - М.: Радио и связь, 1982. - 552 с., ил.
4. Стахов А. П. Алгоритмическая теория измерения / Стахов А. П. – М. : Знание, 1979. – 64 с.
5. Стахов А. П. Коды золотой пропорции / Стахов А. П. – М. : Радио и связь, 1984. – 152 с.
6. Азаров О.Д. Аналого-цифрове порозрядне перетворення на основі надлишкових систем числення з ваговою надлишковістю: монографія / Азаров О. Д. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 231 с.
7. Азаров, О. Д. Багаторозрядні АЦП і ЦАП із ваговою надлишковістю, стійкі до параметричних відмов : монографія / О. Д. Азаров, О. В. Кадук. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 150 с.

Азаров Олексій Дмитрович – д.т.н., професор, декан факультету інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії Вінницького національного технічного університету, Вінниця, (0432) 59-83-64, azarov2@vntu.edu.ua.

Обертюх Максим Романович – аспірант кафедри обчислювальної техніки Вінницького національного технічного університету, Вінниця, maxx331@mail.ru.

Azarov Oleksiy – Doctor of Technical Sciences, Professor, Dean of the Faculty of Information Technology and Computer Engineering of Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, (0432) 59-83-64, azarov2@vntu.edu.ua.

Obertyukh Maksim - post-graduate student of the Department of Computer Science of Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, maxx331@mail.ru.