

ПОРОЗРЯДНІ ЛОГАРИФМІЧНІ АНАЛОГО-ЦИФРОВІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ. ОГЛЯД

© Ільканич К.І., Мичуда З.Р., 2005

Запропоновано критерії оцінки точності та класифікацію, здійснено порівняльний аналіз властивостей та вказано перспективи розвитку порозрядних логарифмічних АЦП.

The criteria of valuation of accuracy and classifications are offered, the comparative analysis of properties is conducted and the prospects of development successive approximation logarithmic ADC.

1. Вступ

У різних галузях науки та техніки надзвичайно часто розв'язують широке коло задач через визначення логарифма величини, що дає інформацію. При однаковій роздільній здатності логарифмічні аналого-цифрові перетворювачі (ЛАЦП) мають кількість розрядів, приблизно вдвічі меншу, ніж лінійні АЦП. Проте за швидкістю ЛАЦП значно поступаються лінійним АЦП.

Відомим способом підвищення швидкодії АЦП є порозрядне кодування. Але, як показує огляд, всі відомі сьогодні ЛАЦП [1], – за винятком запропонованих у роботах [2, 3, 4, 5] чотирьох моделей, – належать до АЦП послідовної лічби. Це пояснюється значними труднощами реалізації порозрядного кодування в ЛАЦП на основі РС-комірки чи r - n -переходу напівпровідникових діодів або транзисторів.

Розроблений нами спосіб побудови ЛАЦП на основі комутованих конденсаторів [1] має значно ширші функціональні можливості завдяки безпосередньому перетворенню вхідного аналогового сигналу у число-імпульсний вихідний код.

У статті розглянуто особливості побудови порозрядних ЛАЦП, дано оцінку точності та класифікацію, виконано порівняльний аналіз властивостей і вказано перспективи розвитку.

2. Загальні питання реалізації ЛАЦП на комутованих конденсаторах

Кожен ЛАЦП на комутованих конденсаторах містить як цифрові, так і аналогові вузли. У разі належного вибору розрядності цифрові вузли практично не впливають на точність ЛАЦП і вона фактично визначається лише аналоговими вузлами: конденсаторною коміркою, аналоговими ключами, джерелом опорної напруги, компаратором і підсилювачем (буферним каскадом, масштабувальним перетворювачем, схемою віднімання). Крім того, значний вплив на точність ЛАЦП матиме і узгодження окремих аналогових вузлів між собою. Тому при фізичному моделюванні ЛАЦП питання забезпечення належних параметрів і узгодження аналогових вузлів є одними з найважливіших.

Розглянемо спочатку особливості реалізації та узгодження окремих вузлів, які є спільними для різних класів ЛАЦП на комутованих конденсаторах.

Попередньо зауважимо таке:

1) при виконанні джерела опорної напруги на сучасній елементній базі з використанням прецизійних стабілітронів похибку опорної напруги можна легко забезпечити в межах 0,001% і тому цією похибкою надалі будемо нехтувати;

2) напругою зміщення компаратора можна нехтувати, якщо забезпечити її значення меншим від мінімального кроку квантування ЛАЦП;

3) напруги зміщення компаратора і підсилювачів можна звести практично до нуля за допомогою автоматичної корекції за загальновідомими простими схемними рішеннями;

4) як аналогові ключі будемо використовувати високоякісні ключі на польових транзисторах, що виконані як інтегральні схеми.

У конденсаторній комірці необхідно використовувати високостабільні прецизійні полістиролові або фторпластові конденсатори. Температурний коефіцієнт ємності ($\delta_{\text{ткє}}$) кращих конденсаторів не перевищує 0,003%/°C, що дає змогу забезпечити похибку від зміни ємності, в нормальних умовах меншу за 0,006%.

Для зменшення впливу вхідного струму компаратора (яким розряджається накопичувальний конденсатор) і підвищення точності ЛАЦП між конденсаторною коміркою і компаратором необхідно включати буферний каскад. Буферний каскад виконується за схемою повторювача напруги на операційному підсилювачі, внаслідок чого має найвищий зі всіх можливих схем вхідний опір.

На точність ЛАЦП впливатиме і напруга зміщення компаратора, бо вона визначатиме мінімальне значення кроку квантування. Оскільки сучасні інтегральні компаратори звичайно мають напругу зміщення 1–3 мВ, то необхідно передбачити способи її зменшення. Найпростіше ця задача розв'язується побудовою компаратора двокаскадним. Перший каскад компаратора виконується на прецизійному операційному підсилювачі з малим значенням напруги зміщення, наприклад, на ОП типу К140УД17А, напруга зміщення якого не перевищує 75 мкВ. Щоб не було значного зниження швидкодії компаратора (за рахунок малої швидкості наростання вихідної напруги прецизійного ОП), другий каскад виконується на серійному інтегральному компараторі, наприклад, К554СА3А, на перший вхід якого подається вихідна напруга першого каскаду, а на другий вхід – порогова напруга, значення якої вибирається набагато більшим за напругу зміщення серійного компаратора, але не більшим за 50–100 мВ. В результаті двокаскадний компаратор має напругу зміщення, що визначається операційним підсилювачем на вході, і швидкодію, лише незначно нижчу від серійного інтегрального компаратора.

Якщо ж використати періодичну корекцію нуля, то напругу зміщення можна знизити до одиниць мікрвольт.

Джерело опорної напруги повинно забезпечувати підвищену стабільність напруги. Тому його доцільно виконувати двокаскадним: перший каскад – параметричний стабілізатор напруги на прецизійному стабілітроні, наприклад, типу 2С483Г(Д), що забезпечує основну похибку напруги стабілізації в межах 0,0001%, а другий – масштабувальний перетворювач на прецизійному операційному підсилювачі для зведення вихідної напруги параметричного стабілізатора до рівня 10 В.

Як аналоговий ключ заряду (КЗА), яким здійснюється підключення конденсаторної комірки до джерела опорної напруги, доцільно використовувати запропонований у [2] швидкодіючий ключ. Такий КЗА містить операційний підсилювач і три ключові елементи (у ролі яких краще застосовувати інтегральні аналогові ключі на польових транзисторах). Особливістю КЗА є те, що на виході ОП завжди повторюється рівень підведеної до КЗА вхідної напруги, внаслідок чого перехід КЗА від розімкнутого стану (КЕ1 і КЕ2 – розімкнуті) до замкнутого стану (КЕ1 і КЕ2 – замкнуті) відбувається практично лише за час спрацювання ключового елемента.

Крім того, при зміні стану КЗА на виході джерела опорної напруги завжди зберігається режим неробочого ходу, оскільки вхідний опір КЗА фактично дорівнює синфазному опору ОП, тобто досягає 100 МОм.

Отже, використання такого КЗА дає змогу підвищити точність і швидкодію ЛАЦП внаслідок виключення перевантажень ДОН при підключенні конденсаторної комірки, а також сприяє підвищенню швидкодії ЛАЦП за рахунок зменшення сталої часу заряду, яка матиме значення

$$\tau_3 = R_3 C_k,$$

де R_3 – опір замкнутого КЗА; C_k – ємність підключеного конденсатора комірки.

Щоб уникнути перевантаження розрядного ключа конденсаторної комірки, необхідно у стокове коло ключового елемента включити обмежувальний опір близько 100 Ом.

Аналогові вузли необхідно виконувати на прецизійних інтегральних операційних підсилювачах. Для аналогового ключа, буферного каскаду і масштабувального перетворювача треба вибрати операційні підсилювачі з високою швидкодією, щоб не знижувати швидкодії ЛАЦП. Зауважимо, що в ЛАЦП швидкодія операційних підсилювачів використовується найповніше, оскільки вони працюють реально з коефіцієнтами передачі, близькими до одиниці.

Щодо цифрових вузлів ЛАЦП на комутованих конденсаторах зауважимо таке.

До генератора тактових імпульсів особливих вимог не ставиться і тому ним може бути звичайний симетричний мультівібратор з резисторно-конденсаторними часозадавальними колами.

Як одновібратор доцільно використати схему типу К555АГ3. До нього ставиться лише єдина вимога: забезпечення тривалості імпульсу, достатньої для закінчення перехідних процесів при комутації конденсаторної комірки.

До лічильника результату ЛР також не ставлять особливих вимог – він повинен лише підрахувати кількість тактів перетворення.

В ЛАЦП, що використовують метод послідовної лічби, доцільно вводити у схему ЛАЦП регістр результату РР, щоб зберігати результат між двома перетвореннями і звільнити ЛР для роботи у наступному перетворенні. Результат перетворення N записується тоді в РР вихідним імпульсом компаратора K_m .

Окрім того, підвищенню точності ЛАЦП сприяє синхронізація моменту запуску ЛАЦП імпульсами тактового генератора.

3. Порозрядний ЛАЦП із змінною основою логарифма і абсолютним поданням результату

Запропонований в [2] ЛАЦП був першим ЛАЦП порозрядного кодування. Його вихідним сигналом є паралельний двійковий код, значення якого пропорційне до логарифма відношення вхідної напруги до опорної напруги.

На рис.1 наведена функціональна схема порозрядного ЛАЦП із змінною основою логарифма і абсолютним поданням результату. ЛАЦП містить: генератор тактових імпульсів (ГТІ), елемент збігу (І), одновібратор (ОВ), джерело опорної напруги (ДОН), блок формування показникової функції (БФПФ), регістр результату (РР), компаратор (K_m), лічильник (Л), причому БФПФ містить тригер (Т), п'ять ключів (К1-К5), два накопичувальні конденсатори (С1 і С2), буферний каскад (БК), аналоговий комутатор (АК) і регульований масштабний перетворювач (МП).

ЛАЦП працює так. За сигналом "Пуск" одновібратор ОВ виробляє імпульс, який замикає перший ключ К1, обнулює лічильник Л і регістр результату РР, установлює на інверсному виході тригера Т рівень логічної одиниці, котрим замикаються ключі К2 і К3.

Через замкнутий перший ключ К1 перший накопичувальний конденсатор С1 заряджається до рівня напруги U_0 джерела опорної напруги ДОН.

Після закінчення імпульсу одновібратора ОВ перший імпульс генератора ГТІ перемикає лічильник Л і комутатор АК, підключає перший вхід масштабного перетворювача МП до виходу буферного каскаду БК, який повторює рівень напруги, записаний на першому накопичувальному конденсаторі.

Надалі робота схеми відповідає описаному вище.

Після надходження n імпульсів ГТІ на лічильник Л напруга на виході МП матиме значення U_n , що відповідає виразу:

$$U_n = U_0 * \prod_{i=1}^{i=n} \zeta A_i \cdot \frac{N_H}{2^i} .$$

Потім n+1 імпульсом ГТІ у дев'яти молодших розрядах регістра результату перетворення РР буде записане двійкове число N, що відповідає

$$N = \sum_{i=1}^n A_i \cdot \frac{N_H}{2^i} .$$

Наступним $n+2$ імпульсом ГТІ на виході РР формується сигнал кінець перетворення, що уможливило зчитування вихідного коду ЛАЦП.

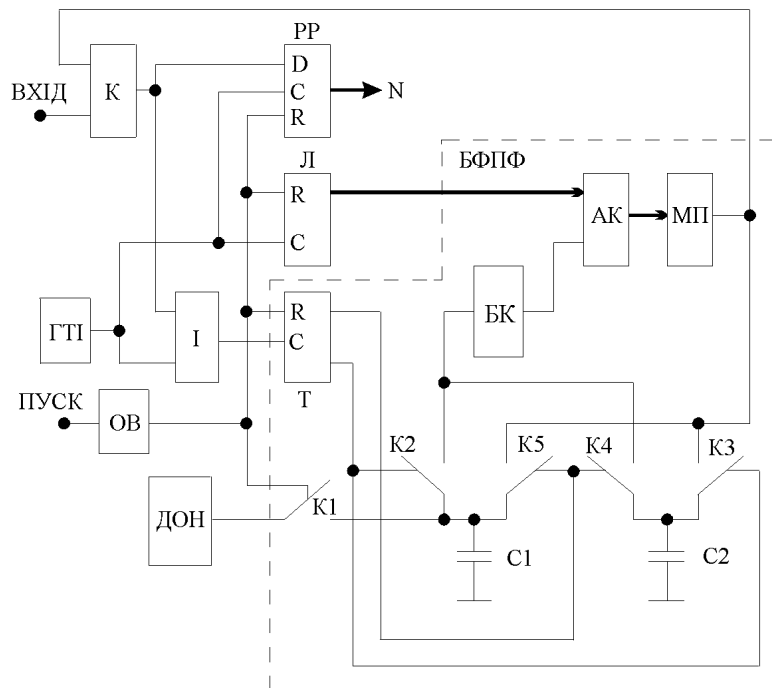


Рис. 1. Функціональна схема порозрядного ЛАЦП із змінною основою логарифма і абсолютним поданням результату

Як реєстр результату зручно використати реєстр послідовних наближень, наприклад, типу К555ІР17.

Як аналоговий комутатор можна використати інтегральну схему 591КН1.

Для виключення впливу опору аналогового комутатора у замкнутому стані масштабний перетворювач МП треба виконати на операційному підсилювачі в неінвертувальному увімкненні.

Виконання решти функціональних вузлів відповідає описаному вище.

Експериментальні дослідження цього порозрядного ЛАЦП [2] показали, що він має такі технічні дані:

- динамічний діапазон вхідних сигналів 80 дБ (100 дБ);
- номінальне значення вхідних сигналів 10 В;
- похибка перетворення не більша, ніж 0,05%;
- час перетворення менший за 100 мкс;
- вихідний сигнал – 12-розрядний двійковий код.

Якщо необхідно, кількість розрядів легко нарощується.

Зауважимо, що хоч відносна похибка перетворення розробленого порозрядного ЛАЦП дещо перевищує зведену похибку лінійних АЦП з цією самою розрядністю, зате ЛАЦП має важливу перевагу – значення відносної похибки перетворення ЛАЦП є сталим у всьому діапазоні зміни вхідних сигналів.

Перевагами розробленого порозрядного ЛАЦП є підвищена точність, зменшений час перетворення, можливість широкого та різнопланового використання.

4. Порозрядний ЛАЦП із змінною основою логарифма і поданням результату характеристикою та мантисою

Деякі незручності при використанні розглянутого вище порозрядного ЛАЦП (рис.1) створює відсутність традиційного поділу значення логарифма (вихідного сигналу) на характеристику та мантису.

Для виключення цього недоліку використаємо ЛАЦП рис.1 для визначення мантиси і доповнимо його блоком визначення характеристики.

На рис. 2 наведена розроблена автором [3] функціональна схема порозрядного ЛАЦП із змінною основою логарифма і поданням результату характеристикою та мантисою, що містить блок визначення характеристики (БХ) та блок визначення мантиси (БМ).

Ця схема ускладнюється порівняно зі схемою рис. 1 незначно, оскільки багато функціональних вузлів БХ і БМ можна сумістити.

Блок визначення мантиси містить: генератор тактових імпульсів, елемент збігу, одновібратор, джерело опорної напруги, блок формування показникової функції, регістр результату, компаратор, лічильник, причому БФПФ містить тригер, п'ять ключів, два накопичувальні конденсатори, буферний каскад, аналоговий комутатор і регульований масштабний перетворювач.

Блок визначення характеристики реалізований на трьох старших розрядах регістра результату (РР) і регульованого масштабного перетворювача (МП).

Решта вузлів БХ збігається з відповідними вузлами БМ.

Розроблений порозрядний ЛАЦП працює так.

Спочатку визначається характеристика. За сигналом "Пуск" одновібратор ОВ виробляє імпульс, який замикає перший ключ К1, обнулює лічильник Л і регістр результату РР, установлює на інверсному виході тригера Т рівень логічної одиниці, котрим замикаються ключі К2 і К3.

Через замкнутий перший ключ К1 перший накопичувальний конденсатор С1 заряджається до рівня напруги U_0 джерела опорної напруги ДОН.

Після закінчення імпульсу одновібратора ОВ перший імпульс генератора ГТІ перемикає лічильник Л і комутатор АК підключає перший вхід масштабного перетворювача МП до виходу буферного каскаду БК, який повторює рівень напруги, записаний на першому накопичувальному конденсаторі.

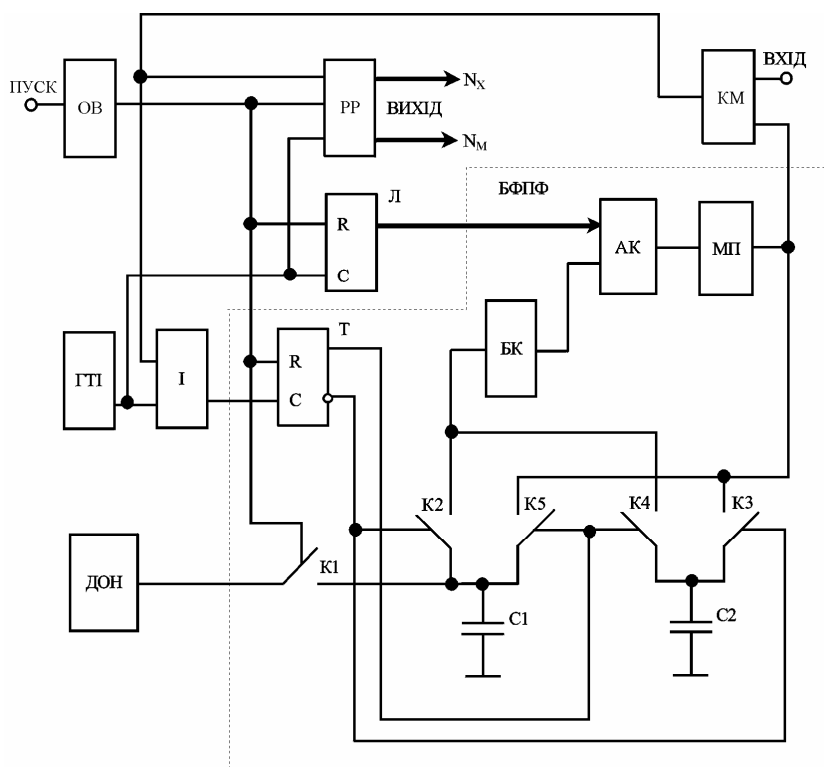


Рис. 2. Функціональна схема порозрядного ЛАЦП із змінною основою логарифма і поданням результату характеристикою та мантисою

Значення коефіцієнтів передачі напруги (K_i) по входах масштабного перетворювача МП задають для будь-якого i -го входу за формулою:

$$K_i = \zeta \cdot 2^i.$$

Коефіцієнт ζ , що задає значення дискретних приростів коефіцієнта передачі масштабного перетворювача МП, можна визначити за формулою:

$$\zeta = e^{N_H^{-1} \ln D^{-1}}.$$

Значення коефіцієнтів передачі напруги (K_i) по входах масштабного перетворювача БХ задамо із урахуванням подання результату визначення характеристики трирозрядним двійковим кодом, зокрема по першому, другому і третьому входах відповідно:

$$K_1 = 0,0001; K_2 = 0,01; K_3 = 0,1.$$

Отже, після першого імпульсу ГТІ напруга на виході МП буде дорівнювати

$$U_1 = 0,0001 \cdot U_0,$$

де U_0 – опорна напруга.

Ця напруга порівнюється компаратором K_M із вхідним сигналом $U_{вх}$.

Другий імпульс ГТІ записує стан виходу компаратора K_M у регістр результату РР (у старшому розряді регістра). Залежно від стану компаратора K_M елемент І дозволяє або забороняє перемикання тригера Т і тим саме – перемикання ключів К2–К5.

Якщо напруга на виході МП U_1 більша за $U_{вх}$, то на виході компаратора буде рівень логічної одиниці. Тоді елемент І дозволяє перемикання тригера Т. Другий імпульс ГТІ перекидає тригер Т і ключі К2, К3 розмикаються, а ключі К4 і К5 замикаються. Цей самий імпульс ГТІ змінює стан лічильника Л і комутатор АК підключає другий вхід МП до виходу буферного каскаду БК.

Якщо після першого імпульсу ГТІ напруга на виході МП U_1 менша, ніж $U_{вх}$, то на виході компаратора буде рівень логічного нуля, яким забороняється проходження імпульсів ГТІ через елемент І. Тому другий імпульс ГТІ записує у старший розряд регістра результату РР нуль, підключає до виходу БК другий вхід МП, який має коефіцієнт передачі напруги 0,01. Оскільки стан тригера Т не змінився, то ключі К2 і К3 далі залишаються замкненими. Отже, до виходу БК підводиться записана на конденсаторі С1 напруга U_0 , а напруга на виході МП має значення

$$U_2 = 0,01 \cdot U_0.$$

Ця напруга U_2 записується через ключ К3 на другому конденсаторі С2 і порівнюється компаратором K_M із вхідною напругою $U_{вх}$.

Далі процес повторюється аналогічно вищеописаному для U_1 .

Після надходження трьох імпульсів ГТІ на лічильник Л напруга на виході МП матиме деяке значення

$$U_3 = U_0 \cdot \prod_{i=1}^{i=3} K_i(1),$$

де $K_i(1)$ – коефіцієнт передачі напруги по i -му входу масштабного перетворювача БХ, при якому у регістр результату було записано одиницю.

З надходженням четвертого імпульсу ГТІ на лічильник Л у старших розрядах РР фіксується код характеристики (N_x) і починається робота блока визначення мантиси. Комутатор АК підключає четвертий вхід МП.

Робота блока визначення мантиси порозрядного ЛАЦП рис.2 повністю збігається з описаним вище для ЛАЦП рис. 1.

Порозрядний ЛАЦП рис. 2 має такі самі технічні дані, як і ЛАЦП рис.1, лише його вихідний сигнал – двійковий код, характеристику та мантису якого подають відповідно 3 і 12 розрядами.

5. Порозрядний ЛАЦП з перерозподілом заряду

У роботі [5] досліджено особливості побудови порозрядного логарифмічного АЦП на основі перерозподілу заряду у комутованих конденсаторах. Спрощена структурна схема такого ЛАЦП наведена на рис.3, де позначено: ДН – дільник напруги послідовний, ДН_р – дільник напруги паралельний, РЗ – реєстр зсуву (N – розрядний).

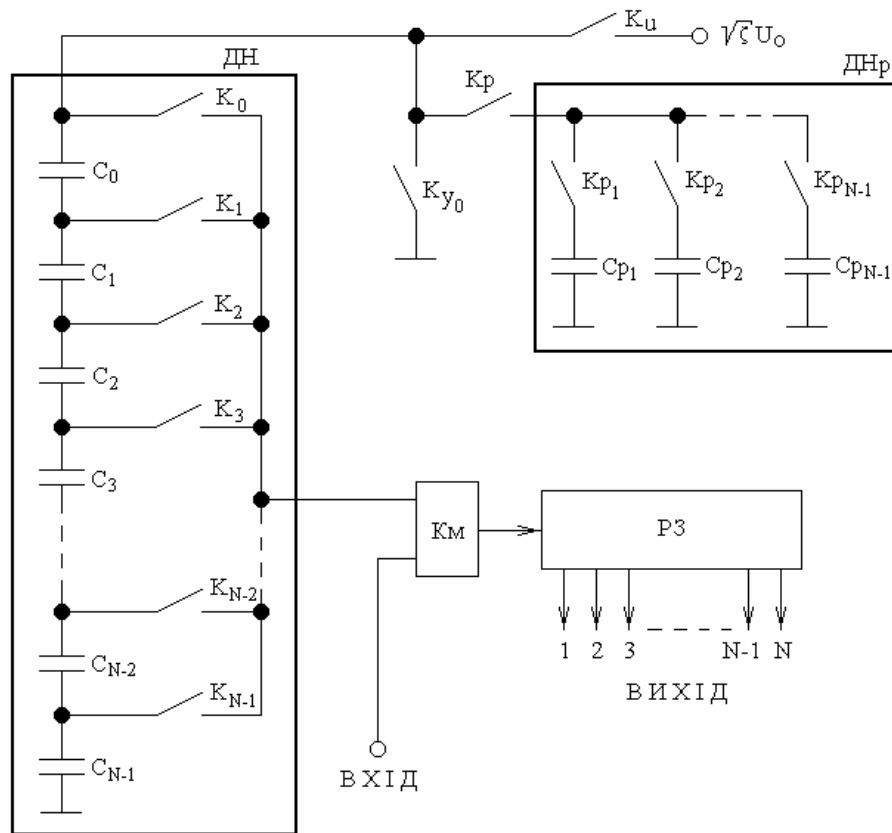


Рис. 3. Спрощена структурна схема порозрядного ЛАЦП з перерозподілом заряду

Конденсатори послідовного дільника напруги вибирають за умовою:

$$\frac{U_{C_0}}{U_{C_i}} = \frac{1-\zeta}{\zeta^{2^i} - \zeta^{2^{i+1}}} = \frac{C_i}{C_0}, \text{ якщо } 1 \leq i \leq N-2 \quad i$$

$$\frac{U_{C_0}}{U_{C_{N-1}}} = \frac{1-\zeta}{\zeta^{2^{N-1}}} = \frac{C_{N-1}}{C_0}.$$

Еквівалентна ємність послідовного дільника напруги (C_e)

$$C_e = C_0(1-\zeta).$$

Якщо розрядний конденсатор C_{p_i} підключений паралельно до послідовного дільника і заряджається від напруги U_s , то напруга на групі конденсаторів після перерозподілу заряду

$$U = \frac{C_e}{C_e + C_{p_i}} U_s.$$

Для C_{p_i} є справедливим відношення ζ^{2^i} і тому

$$\frac{C_{p_i}}{C_e} = \zeta^{-2^i} - 1, \quad C_{p_i} = \left(\zeta^{-2^i} - 1 \right) (1-\zeta) C_0 \quad \text{при } 2 \leq i \leq N-1.$$

Недоліком порозрядного ЛАЦП з перерозподілом заряду (рис.3) є значний вплив паразитних міжелектродних ключів ДН, що значно знижує точність перетворення. У практично реалізованому ЛАЦП такого типу було досягнуто точності 5–6 двійкових розрядів.

6. Рекурентний ЛАЦП

У [4] нами запропоновано новий метод логарифмічного аналого-цифрового перетворення – рекурентний, викладено принцип перетворення, розглянуто особливості реалізації, дано оцінку точності та швидкодії.

Сутність логарифмічного аналого-цифрового перетворення за рекурентним методом полягає у такому. Діленням опорної напруги (U_0) створюємо ряд еталонних рівнів напруг U_1-U_n , з яких будь-які два сусідні відрізняються в ζ разів (тут ζ – основа логарифма), причому кількість еталонних напруг дорівнює кількості розрядів вихідного коду ЛАЦП (n):

$$U_1 = \zeta^n U_0; U_2 = \zeta^{n-1} U_0; U_3 = \zeta^{n-2} U_0; \dots U_{n-1} = \zeta^2 U_0 \quad \text{і} \quad U_n = \zeta U_0.$$

Почергово порівнюємо кожен з еталонних напруг із вхідною напругою. Запам'ятовуємо значення еталонної напруги, за якої відбувся перехід через рівень вхідної напруги і надалі використовуємо його як опорну напругу. Значення розрядів вихідного коду задаємо як такі, що дорівнюють результатам порівняння вхідної напруги з відповідними еталонними напругами.

Напруга в останньому вузлі дільника U'_n матиме значення, що буде дорівнювати добутковій опорної напруги U_0 і вагових коефіцієнтів тих вузлів, при підключенні яких до компаратора було перевищення рівня вхідного сигналу:

$$U'_n = U_0 * \prod_{i=1}^{i=n} \zeta^{A_i \cdot (n-i+1)},$$

де A_i – коефіцієнт, що набуває в кожному i -такті перетворення значення 1 або 0 відповідно до стану компаратора 1 або 0.

Отже, на момент закінчення перетворення компенсаційний сигнал U'_n дорівнює вхідному з похибкою, яка не перевищує значення $\delta = \frac{1-\zeta}{\zeta} \cdot 100\%$.

Результат перетворення дорівнює кодові (N)

$$N = \sum_{i=1}^n A_i \cdot (n - i + 1)$$

i є пропорційний до логарифма відношення вхідного сигналу до опорного.

7. Висновки

На основі огляду порозрядних ЛАЦП можна стверджувати таке.

1. Для забезпечення однакового з лінійними АЦП значення похибки квантування порозрядні ЛАЦП повинні мати 1–2 надлишкові розряди.

2. Порозрядні ЛАЦП на комутованих конденсаторах з накопиченням заряду забезпечують високу точність перетворення, до 11 двійкових розрядів. Більшої точності досягти важко через труднощі реалізації високоточних вагових резисторів окремих розрядів ЛАЦП.

3. Порозрядні ЛАЦП на комутованих конденсаторах з перерозподілом заряду мають низьку точність, до 5–6 двійкових розрядів, через значний вплив паразитних міжелектродних ємностей аналогових ключів. Зменшити цей вплив можна збільшенням ємностей конденсаторного дільника напруги, але тоді погіршується технологічність виготовлення ЛАЦП.

4. Найперспективнішим є виконання порозрядних ЛАЦП за рекурентним методом, який за меншої порівняно з іншими ЛАЦП кількості вагових величин забезпечує підвищену точність, до 11–12 двійкових розрядів, і високу технологічність, яка уможливує реалізацію рекурентних ЛАЦП у вигляді інтегральних схем.

1. Мичуда З.Р. Логарифмічні аналого-цифрові перетворювачі – АЦП майбутнього. – Львів, 2002. 2. А.с. 1429136 СССР, МПК G06G 7/24. Логарифмический аналого-цифровой преобразователь / З.Р. Мичуда, Н.В. Яворский. – Опубл. 07.10.1988. Бюл. №37. – 5 с. 3. Мичуда З.Р. Порозрядний логарифмічний аналого-цифровий перетворювач// Вимірювальна техніка та метрологія. – 1998. – №53. – С.114–118. 4. З. Мичуда, К. Гльканич, Л. Мичуда. Новий метод логарифмічного аналого-цифрового перетворення // Комп'ютерні технології друкарства. – Л., 2004. – № 12. – С.220–225. 5. С.С.Lefas. Successive approximation logarithmic A/D conversion using charge redistribution techniques // Int. Journal of Circuit Theory and Applications. – Vol.15. – №1. – 1987. – P.61–69.

УДК 621.317

О.В. Бойко, П.Г. Столярчук, Г.І. Барило, В.І. Матвіїв
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра метрології, стандартизації та сертифікації

МЕТОДИ ПОСЛАБЛЕННЯ ЗАВАД НОРМАЛЬНОГО ВИДУ В АКТИВНИХ ІМІТАТОРАХ ОПОРУ

© Бойко О.В., Столярчук П.Г., Барило Г.І., Матвіїв В.І., 2005

Запропоновано методи послаблення завад нормального виду в чотирипровідних активних імітаторах опору. Проаналізовано вплив додаткових елементів на коефіцієнт послаблення завад і динамічні характеристики імітатора опору.

The methods of compensation influence of the normal mode noise in four-terminal code-control resistance measures are proposed. Influence of the additional elements on the noise suppression and dynamic characteristics in the resistance measures are analyzed.

Вступ

Під час метрологічної перевірки резистивних перетворювачів в промислових умовах доволі часто кодокеровані міри опору повинні забезпечувати можливість неспотвореного передавання значення зразкового опору на віддаль. На вимірювальні кола діють різні впливні чинники. Одним з основних чинників на промислових об'єктах, що впливає на точність передачі одиниць зразкового опору на віддаль, є завади промислових мереж [1, 2]. В [3] показано, що для зменшення впливу завад нормального виду в чотирипровідних активних імітаторах опору необхідно намагатися вирівняти завади в лініях зв'язку. Рівність завад в усіх лініях зв'язку можна отримати у разі рівності параметрів гальванічних зв'язків між джерелом завад і окремими лініями зв'язку. Для вирівнювання параметрів гальванічних зв'язків застосовують загальнодоступні конструктивні методи (екранування, скручування ліній зв'язку, заземлення та інші), однак це не дає змоги повністю усунути вплив завад на сигнали у вимірювальних колах [4, 5]. Для зменшення впливу завад застосовують також структурні методи [2, 6]. Відомі методи послаблення завад при вимірюванні напруги неможливо використати в активних імітаторах опору. Тому необхідно розробляти спеціальні методи, які б дали змогу зменшити вплив завад на похибку імітації опору.

Підвищення завадостійкості активних імітаторів опору

На рис.1 наведено структурну схему активного імітатора опору з компенсацією впливу завад нормального виду в усіх лініях зв'язку.

Для вирівнювання завад у першій і другій лініях зв'язку введено схему формування компенсаційного струму, побудовану на операційному підсилювачі DA2 з резисторами R_1 , R_2 , R_3 у зворотних зв'язках. Функція перетворення активного імітатора опору описується виразом