

ЛОГАРИФМІЧНІ АЦП ІЗ НАКОПИЧЕННЯМ ЗАРЯДУ. СУЧАСНИЙ СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ

О Антонів У. С., Мичуда З. Р., 2015

Запропоновано класифікацію, проведено порівняльний аналіз властивостей і вказано перспективи розвитку логарифмічних АЦП із накопиченням заряду.

The classifications are offered, the comparative analysis of properties is conducted and the prospects of logarithmic ADC development based on accumulation of a charge are presented.

1. Вступ

Логарифмічні аналого-цифрові перетворювачі (ЛАЦП) на комутованих конденсаторах, які вперше [7] було реалізовано на кафедрі автоматики та телемеханіки Національного університету “Львівська політехніка”, значно переважають за технічними характеристиками логарифмічні перетворювачі інших типів. Ці ЛАЦП поділяються на ЛАЦП з перерозподілом [1, 5–8, 10, 13] і ЛАЦП із накопиченням заряду [1–6, 9, 11–18] у конденсаторних комірках. Сьогодні ЛАЦП із перерозподілом заряду вивчено достатньо повно, проте ЛАЦП із накопиченням заряду досліджено недостатньо, і це ускладнює їх практичну реалізацію та оптимізацію.

Метою статті є аналіз сучасного стану та оцінювання перспектив розвитку ЛАЦП із накопиченням заряду.

2. Класифікація ЛАЦП із накопиченням заряду

Аналого-цифрові перетворювачі з логарифмічною характеристикою перетворення класифікують за такими ознаками, як відносна похибка перетворення, структурна реалізація, принцип перетворення чи базовий елемент, використана зразкова міра чи спосіб її відтворення, алгоритм роботи [1].

Аналізуючи ЛАЦП із накопиченням заряду на КК, доходимо висновку, що їх доцільно класифікувати за принципом дії, структурною реалізацією та алгоритмом роботи. Класифікацію ЛАЦП із накопиченням заряду на КК, виконана нами за цими критеріями, наведено на рисунку.

За принципом дії ЛАЦП з накопиченням заряду на КК можна поділити на:

- ЛАЦП із спадною розгорткою;
- ЛАЦП із наростаючою розгорткою.

Спадна розгортка компенсаційної напруги реалізується в ЛАЦП із накопиченням заряду:

- на пасивних конденсаторних комірках;
- на активних конденсаторних комірках;
- з імпульсним зворотним зв’язком.

Наростаюча розгортка компенсаційної напруги виникає лише в ЛАЦП із накопиченням заряду в активних конденсаторних комірках.



Класифікація логарифмічних АЦП з накопиченням заряду

За структурною реалізацією ЛАЦП з накопиченням заряду в пасивних конденсаторних комірках можна поділити на:

- ЛАЦП із паралельними конденсаторними комірками;
- ЛАЦП із послідовними конденсаторними комірками.

Своєю чергою, в ЛАЦП із накопиченням заряду з імпульсним зворотним зв'язком застосовується місцевий зворотний зв'язок, в якому здійснюється проміжне перетворення напруги в струм.

3. Порівняльний аналіз логарифмічних АЦП із накопиченням заряду

Проаналізуємо властивості різних класів ЛАЦП із накопиченням заряду на КК.

Сьогодні за алгоритмом роботи реалізовано такі класи ЛАЦП із накопиченням заряду: послідовні; порозрядні; рекурентні та слідкувальні.

Спадна розгортка компенсаційної напруги реалізується всіма ЛАЦП із накопиченням заряду, а наростаюча – лише ЛАЦП на активних конденсаторних комірках (обидві розгортки потрібні, наприклад, для реалізації слідкувальних ЛАЦП).

У послідовних ЛАЦП з ПЗ і ЛАЦП з НЗ на паралельних пасивних конденсаторних комірках реалізується спадна розгортка, їх основна похибка і час перетворення відповідно не більші за 0,25 % і 20 мс [1, 8, 13, 14].

При формуванні наростаючої розгортки особливу увагу треба звертати на компенсацію напруги зміщення операційного підсилювача в масштабувальному перетворювачі, оскільки на його вхід надходить сигнал, що дорівнює сумі напруг опорної та зміщення.

Спроби реалізувати наростаючу розгортку в ЛАЦП на пасивних конденсаторних комірках були невдалими через велику похибку невідповідності логарифму характеристики перетворення (ця похибка відповідає похибці нелінійності лінійних АЦП). Введення в такі ЛАЦП схеми віднімання зводить до нуля цю похибку, але розгортка компенсаційної напруги при цьому стає спадною.

ЛАЦП на активних конденсаторних комірках значно гнучкіші в налагоджуванні порівняно з ЛАЦП на пасивних конденсаторних комірках, оскільки в них можна перестроювати коефіцієнт перетворення за допомогою змінних резисторів, що не тільки розширює функціональні можливості (за рахунок зміни основи логарифму), а й підвищує точність ЛАЦП.

Порозрядні ЛАЦП із накопиченням заряду реалізують аналогічно до ЛАЦП на активних конденсаторних комірках. Лише підкреслимо, що порозрядні ЛАЦП є значно складнішими, проте набагато точнішими. Останнє зумовлено меншою кількістю тактів перетворення. У порозрядних

ЛАЦП забезпечується основна похибка, не більша за 0,05 % при часі перетворення, меншому за 100 мкс [1, 2, 15].

Рекурентні ЛАЦП з накопиченням заряду за однакової точності з порозрядними ЛАЦП є простішими в реалізації та більш технологічними для інтегрального виготовлення.

Метрологічні характеристики ЛАЦП із накопиченням заряду на паралельних пасивних конденсаторних комірках є практично ідентичними характеристикам ЛАЦП із перерозподілом заряду.

У ЛАЦП з накопиченням заряду на послідовних пасивних конденсаторних комірках можна досягти вищої швидкодії порівняно з ЛАЦП з перерозподілом заряду.

Слідкувальні ЛАЦП із накопиченням заряду реалізуються на ЛАЦП з наростаючою та ЛАЦП із спадною розгорткою і тому характеристики останніх практично повністю визначають характеристики слідкувальних ЛАЦП.

4. Перспективи розвитку ЛАЦП із накопиченням заряду

Сьогодні ЛАЦП із накопиченням заряду розвиваються у напрямках підвищення точності, збільшення швидкодії, інтегрального виконання.

Підвищення точності. У ЛАЦП з НЗ на послідовних пасивних конденсаторних комірках можна досягти вищої точності порівняно з ЛАЦП на паралельних комірках, оскільки в них відсутня похибка від передавання паразитного заряду ключа розряду; ця обставина спрощує реалізацію ЛАЦП на послідовних комірках, бо немає необхідності в компенсації згаданої похибки; їх основна похибка (з урахуванням похибки квантування 0,1 %) може бути зменшена до 0,15 % за часу перетворення, меншого за 20 мс у динамічному діапазоні вхідних сигналів 80 дБ за номінального значення вхідного сигналу 10 В [14].

У послідовних ЛАЦП з НЗ з імпульсним від'ємним зворотним зв'язком при вищенаведених вхідних сигналах основна похибка і час перетворення відповідно не більші за 0,1 % і 20 мс. У цих ЛАЦП основна похибка практично визначається похибкою квантування, і вони є найточнішими з усіх послідовних ЛАЦП [11,12].

Збільшення швидкодії. Динамічні властивості ЛАЦП з накопиченням заряду фактично повністю визначаються часом заряду та розряду:

– накопичувального і дозувального конденсаторів у ЛАЦП на послідовних пасивних конденсаторних комірках;

– накопичувального конденсатора у ЛАЦП з імпульсним від'ємним зворотним зв'язком.

Підвищення швидкодії досягається зменшенням значення ємностей згаданих конденсаторів, а також використанням аналогових ключів із зменшеним опором у включеному стані. Проте зменшення ємності нижче 500 пФ призводить до збільшення інструментальної похибки ЛАЦП. До цього ж призводить використання аналогових ключів з опором, меншим за 30 Ом, оскільки в них збільшуються паразитні міжелектродні ємності.

Інтегральне виконання. Загальноприйнятною тенденцією сучасності є виконання розробок найрізноманітнішого призначення у вигляді інтегральних схем. З цього погляду найперспективнішими з усіх класів логарифмічних АЦП є ЛАЦП з імпульсним від'ємним зворотним зв'язком, оскільки в них використовується лише один конденсатор, і тому його можна залишити поза межами інтегральної схеми, тобто виконати навісним.

Сьогодні лише декілька моделей конвеєрних ЛАЦП виконано як інтегральні схеми. Найкращий з них, що реалізований на комутованих конденсаторах, має середню точність і порівняно невеликий динамічний діапазон; зокрема забезпечує основну похибку перетворення, не більшу за 0,4 % у діапазоні вхідних сигналів від 0,4 мВ до 1 В [16].

Висновки

Проведені нами дослідження сучасного стану ЛАЦП на комутованих конденсаторах показали, що у послідовних ЛАЦП із накопиченням заряду на пасивних конденсаторних комірках і з імпульсним від'ємним зворотним зв'язком, виконаних на сучасній елементній базі, практично

неможливо знизити основну похибку і час перетворення відповідно нижчий за 0,1 % і 10–20 мс у діапазоні вхідних сигналів 80 дБ (1 мВ – 10 В).

З метою подальшого підвищення точності та швидкодії треба використовувати складніші алгоритми логарифмічного аналого-цифрового перетворення, які б зменшували кількість тактів перетворення.

1. Мичуда З. Р. Логарифмічні аналого-цифрові перетворювачі – АЦП майбутнього. – Львів: Простір, 2002. – 242 с. 2. Мичуда З. Р. Логарифмічний АЦП з проміжним перетворенням напруження струму // Вісник Держ. ун-ту “Львівська політехніка” “Автоматика, вимірювання та керування”. – 1998. – Вип. 324. – С. 101–106. 3. Матецька Л. А. Логарифмічний аналого-цифровий перетворювач з накопиченням заряду / Л. А. Матецька, З. Р. Мичуда // Вісник Держ. ун-ту “Львівська політехніка” “Автоматика, вимірювання та керування”. – 2000. – Вип. 389. – С. 140–146. 4. Матецька Л. А. Логарифмічний аналого-цифровий перетворювач з накопиченням заряду на послідовно включених конденсаторах / Л. А. Матецька, З. Р. Мичуда // Зб. наукових праць “Комп’ютерні технології друкарства”. – Л.: Українська академія друкарства. – 2000. – № 5. – С. 36–43. 5. Мичуда З. Р. Аналого-цифрові перетворювачі з логарифмічною характеристикою перетворення. Огляд. Ч. 1 // Міжвідомчий наук.-техн. зб. “Вимірювальна техніка і метрологія”. – Л.: Вища школа, 2000. – Вип. 56. – С. 94–100. 6. Мичуда З. Р. Аналого-цифрові перетворювачі з логарифмічною характеристикою перетворення. Огляд. Ч. 2 // Міжвідомчий наук.-техн. зб. “Вимірювальна техніка і метрологія”. – Л.: Вища школа, 2000. – Вип. 57. – С. 14–25. 7. Мычуда З. Р., Дудыкевич В. Б. Способ определения логарифма: А.с.819948 СССР. – 1982, Б.И. 29. 8. Мычуда З. Р., Лукашевич В. П. Логарифмический аналого-цифровой преобразователь: А.с.1425726 СССР. – 1988, Б.И. 35. 9. Мычуда З. Р., Яворский Н. В. Логарифмический аналого-цифровой преобразователь: А.с.1501097 СССР. – 1989, Б.И. 30. 10. Мичуда З. Р. Спосіб логарифмічного аналого-цифрового перетворення: Патент 43364 Україна. – 2001, Бюл. № 11. 11. Мичуда З. Моделювання впливу паразитних міжелектродних ємностей в логарифмічних АЦП з накопиченням заряду з імпульсним від’ємним зворотним зв’язком / З. Мичуда, Л. Мичуда, У. Антонів, А. Шиманський // Міжвідомчий зб. “Вимірювальна техніка і метрологія”. – Л.: Вища школа, 2010. – Вип. 71. – С. 13–19. 12. Мичуда З. Р. Моделювання впливу струмів витікання в логарифмічних АЦП з накопиченням заряду з імпульсним від’ємним зворотним зв’язком / З. Р. Мичуда, Л. З. Мичуда, У. С. Антонів // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – № 5. – С. 164–166. 13. Мичуда З. Р. Підвищення точності та швидкодії логарифмічних аналого-цифрових перетворювачів / З. Р. Мичуда, Л. З. Мичуда, Б. О. Католик, О. Р. Коструба // Вісник Черкаського державного технологічного університету, 2006, спецвипуск. – С. 203–205. 14. Мичуда З. Р. Моделювання впливу паразитних міжелектродних ємностей в логарифмічних АЦП з накопиченням заряду на послідовних пасивних конденсаторних комірках / З. Р. Мичуда, Л. З. Мичуда, У. С. Антонів // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка” “Теплоенергетика. Інженерія довілля. Автоматизація”. – 2008. – Вип. 617. – С. 163–170. 15. Myczuda Z. A method of charge accumulation in the logarithmic analog-to-digital converter with a successive approximation / Z. Myczuda, A. Szcześniak // PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY (Electrical Review), ISSN 0033-2097, R. 86 NR 10/2010, str.336-340. 16. Jongwoo Lee. A 2.5 mW 80 dB DR 36 dB SNDR 22 MS/s Logarithmic Pipeline ADC/ Jongwoo Lee, Joshua Kang, Sunghyun Park, Jae-sun Seo, Jens Anders, Jorge Guilherme, Michael P. Flynn// IEEE JOURNAL OF SOLID-STATE CIRCUITS, vol.44, 2009, nr.10, pp.2755-2765. 17. Antoniów U. Logarytmiczne przetworniki analogowo-cyfrowe z nagromadzeniem ładunku i impulsowym sprzężeniem zwrotnym/ U. Antoniów, L. Myczuda, Z. Myczuda, A. Szcześniak // PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY (Electrical Review), ISSN 0033-2097, R.89, NR 8/2013, str. 277 – 281. 18. Мичуда З. Р. Оцінювання динамічних властивостей логарифмічних АЦП з накопиченням заряду на послідовних пасивних конденсаторних комірках / З. Р. Мичуда, Л. З. Мичуда, У. С. Антонів // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка” “Автоматика, вимірювання та керування”. – 2014. – Вип. 802. – С. 37–44.