

Логарифмічні АЦП з накопиченням заряду на послідовних пасивних конденсаторних комірках

У.С.АНТОНІВ¹

Annotation – The mathematical models of errors of logarithmic ADC, based on accumulation of a charge in serial passiv condensers cells are offered, the results of modelling are presented and the valuation of accuracy are given.

Ключові слова – Логарифмічні АЦП, накопичення заряду, конденсаторні комірки, моделювання, точність.

I. ВСТУП

На даний час найвищі технічні характеристики забезпечують логарифмічні аналого-цифрові перетворювачі (ЛАЦП) на комутованих конденсаторах, які вперше [1] були реалізовані на кафедрі автоматки та телемеханіки Національного університету “Львівська політехніка”. Ці ЛАЦП реалізують на основі явищ перерозподілу і накопичення заряду у комутованих конденсаторних комірках (КК) можуть бути активними або пасивними – у перші відрізняються від других тим, що містять (окрім конденсаторів і аналогових ключів) ще й підсилювачі. Хоч дослідженню ЛАЦП на комутованих конденсаторах присвячено порівняно багато робіт [1-7], ЛАЦП з накопиченням заряду (НЗ) на послідовних пасивних конденсаторних комірках [1,6] вивчені в теоретичному плані недостатньо, а відсутність їх математичного моделювання ускладнює практичну реалізацію і оптимізацію.

Метою даної роботи є розроблення математичних моделей похибок ЛАЦП з накопиченням заряду на послідовних пасивних конденсаторних комірках і кількісна оцінка цих похибок з урахуванням параметрів сучасних елементів.

II. ФІЗИЧНА МОДЕЛЬ ЛАЦП З НЗ НА ПОСЛІДОВНІЙ ПАСИВНІЙ КК

Спрощена функціональна схема ЛАЦП з накопиченням заряду на послідовній пасивній конденсаторній комірці (КК) наведена на рис.1, де позначено: C_n і C_d – накопичуючий і дозуючий конденсатори, К0-К4 – аналогові ключі 1-4, БК – буферний каскад, Км – компаратор, СВ – схема віднімання, $U_{вх}$ і U_o – вхідна і опорна напруги, U_y – напруга управління, КП – вихід сигналу “Кінець перетворення”.

В процесі роботи структура ЛАЦП з НЗ на послідовних пасивних КК змінюється і це необхідно врахувати при моделюванні.

III. МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ПОХИБОК ЛАЦП З НЗ

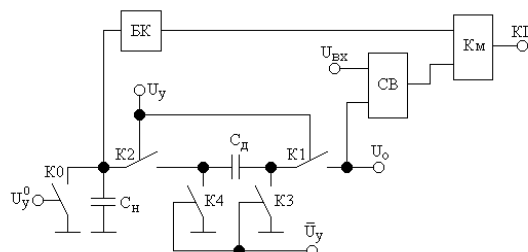


Рис.1. Спрощена функціональна схема ЛАЦП з НЗ на послідовній пасивній КК

НА ПОСЛІДОВНІЙ ПАСИВНІЙ КК

Неідеальність елементів призводить до виникнення похибок від впливу паразитних міжелектродних ємностей і струмів витікання компонентів схеми.

Паразитні міжелектродні ємності викликають у ЛАЦП похибки від безпосередньої зміни ємності накопичуючого конденсатора (ΔU_{N6}), проникнення напруги управління (ΔU_{Ny}) і передачі паразитного заряду (ΔU_{Nq}).

Струми витікання компонентів ЛАЦП, зокрема, накопичуючого конденсатора, аналогових ключів і вхідний струм буферного каскаду призводять до появи похибки перетворення (ΔU_{Ni}).

Розглянемо розроблені нами математичні моделі похибок ЛАЦП з НЗ на послідовній пасивній КК (оцінку інструментальної похибки ЛАЦП проведемо з урахуванням використання високоякісних операційних підсилювачів з малими вхідними струмами, - наприклад, К1409, для яких вхідні струми менші 50 пА, - і аналогових ключів фірм Maxim чи Analog Devices, для кращих з яких значення паразитних міжелектродних ємностей не перевищують 1 пФ, а струми витікання – 100 пА).

Похибка ΔU_{N6} на N-тому такті перетворення

$$\Delta U_{N6} = (\xi^N - \xi_{id}^N) \cdot U_o \quad (1)$$

Похибка ΔU_{N6} є від'ємною, має екстремум і досягає мінімального значення: -0,0198 мВ при $C_n=1$ пФ; -0,0320 мВ при $C_n=2$ пФ і -0,0564 мВ при $C_n=4$ пФ.

Похибка ΔU_{Ny} на N-тому такті перетворення

¹ Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, УКРАЇНА, E-mail: Antoniv_U@ukr.net

$$\Delta U_{Ny} = -\frac{1-\xi^N}{1-\xi} \cdot \Delta U. \quad (2)$$

Похибка ΔU_{Ny} є від'ємною, збільшується за абсолютним значенням із збільшенням вихідного коду ЛАЦП (тобто зменшенням значення $U_{вх}$) і паразитних міжелектродних ємностей (C_n) і досягає: -20 мВ при $C_n=1$ пФ, -40 мВ при $C_n=2$ пФ і -80 мВ при $C_n=4$ пФ.

Похибка ΔU_{Nq} на N-тому такті перетворення

$$\Delta U_{Nq} = \frac{1-\xi^N}{1-\xi} \cdot kU_y. \quad (3)$$

Похибка ΔU_{Nq} є додатною, зростає із збільшенням вихідного коду і не перевищує 10 мВ при $C_n=1$ пФ, 20 мВ при $C_n=2$ пФ і 40 мВ при $C_n=4$ пФ.

Результуюча абсолютна похибка перетворення (ΔU_{Nc}), викликана впливом паразитних міжелектродних ємностей, матиме значення

$$\Delta U_{Nc} = (\xi^N - \xi_{ид}^N) \cdot U_0 + \frac{1-\xi^N}{1-\xi} \cdot (kU - \Delta U). \quad (4)$$

Похибка ΔU_{Nc} є від'ємною, зростає за абсолютним значенням із збільшенням вихідного коду ЛАЦП (тобто зменшенням $U_{вх}$) і досягає: -9,99 мВ при $C_n=1$ пФ, -20 мВ при $C_n=2$ пФ і -40 мВ при $C_n=4$ пФ.

Похибка ΔU_{Ni} на N-тому такті перетворення

$$\Delta U_{Ni} = \frac{1}{C_n} \sum_{k=1}^{k=4} I_{Фк} \cdot t_{Фк} \cdot N, \quad (5)$$

де ΔU_{Ni} - абсолютна похибка напруги на накопичуючому конденсаторі від струмів витікання на N-ому такті перетворення; $I_{Фк}$ - сумарний струм через накопичуючий конденсатор у фазі перетворення "к", причому $k=1, 2, 3, 4$; $t_{Фк}$ - тривалість фази перетворення "к".

Похибка ΔU_{Ni} є від'ємною, не залежить від значення паразитних міжелектродних ємностей, зростає за абсолютним значенням при збільшенні вихідного коду і не перевищує 0,5 мВ при часі перетворення $T_n \leq 50$ мс (при цьому вихідний код $N \leq 10000$).

IV. ОЦІНКА ТОЧНОСТІ ЛАЦП З НЗ НА ПОСЛІДОВНІЙ ПАСИВНІЙ КК

Результуюча похибка ЛАЦП (δ_p) буде рівна сумі похибок інструментальної і квантування, які не є корельовані між собою. Тому визначимо її за формулою

$$\delta_p = \sqrt{\delta_i^2 + \delta_k^2}.$$

Відносна похибка квантування (δ_k) ЛАЦП залежить від вибору значення основи логарифму ζ і є сталою у всьому динамічному діапазоні вхідних сигналів:

$$\delta_k = \frac{1-\zeta}{\zeta} \cdot 100\%.$$

Інструментальна похибка ЛАЦП визначатиметься неідеальністю компонентів схеми ЛАЦП і, зокрема, впливом паразитних міжелектродних ємностей і струмів витікання $\delta_i = \sqrt{\delta_c^2 + \delta_{Ib}^2}$ оскільки складові похибки не корельовані між собою.

В діапазоні вхідних сигналів 1 мВ – 10 В зведена похибка ЛАЦП від впливу паразитних міжелектродних ємностей не перевищуватиме 0,1% (для $C_n \leq 1$ пФ), а від струмів витікання менша 0,005%. Оскільки остання значно менша, то інструментальна похибка ЛАЦП фактично визначається похибкою від впливу паразитних міжелектродних ємностей, тобто $\delta_i \approx \delta_c \leq 0,1\%$.

При заданні похибки квантування 0,1% результуюча похибка перетворення розглянутого ЛАЦП

$$\delta_p = \sqrt{0,1^2 + 0,1^2} = 0,141\% \leq 0,15\%.$$

V. ВИСНОВОК

Проведені дослідження ЛАЦП з НЗ на послідовних пасивних КК дозволяють стверджувати:

1. Вплив паразитних міжелектродних ємностей аналогових ключів і буферного каскаду на процеси накопичення заряду у КК відбувається через: а) безпосередню зміну ємностей накопичуючого та дозуючого конденсаторів; б) проникнення напруги управління аналогового ключа заряду (К2) в конденсаторну комірку; в) передачу паразитного заряду затвора аналогового ключа заряду (К2) в конденсаторну комірку.

2. Важливою перевагою ЛАЦП з НЗ на послідовних пасивних КК над ЛАЦП з НЗ на паралельних КК і ЛАЦП з перерозподілом заряду є відсутність похибки від передачі заряду ключів розряду, яка в останніх перетворювачах є домінуючою.

3. Реалізація ЛАЦП з накопиченням заряду на послідовних пасивних конденсаторних комірках на сучасній елементній базі дозволяє досягти класу точності 0,15 (причому знизити результуючу інструментальну похибку перетворення до 0,1% і менше при методичній похибці 0,1% в діапазоні вхідних сигналів від 1 мВ до 10 В), тобто - отримати найбільш точні послідовні ЛАЦП.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- [1] Мичуда З.Р. Логарифмічні аналого-цифрові перетворювачі – АЦП майбутнього.- Львів, Видавництво "Простір", 2002. - 242 с.
- [2] Мичуда З.Р., Мичуда Л.З., Антонів У.С. Моделювання впливу паразитних міжелектродних ємностей в логарифмічних АЦП з накопиченням заряду на послідовних пасивних конденсаторних комірках// Вісник НУЛП - Теплоенергетика. Інженерія довкілля. Автоматизація, Л.: НУЛП, 2008, вип.613, с.163-170.