

ЛОГАРИФМІЧНІ АЦП З НАКОПИЧЕННЯМ ЗАРЯДУ З ІМПУЛЬСНИМ ВІД'ЄМНИМ ЗВОРОТНИМ ЗВ'ЯЗКОМ. МО- ДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ СТРУМІВ ВИТІКАННЯ

Запропоновано математичні моделі похибок від струмів витікання в логарифмічних АЦП з накопиченням заряду з імпульсним зворотним зв'язком, наведено результати моделювання та дано оцінку точності

The mathematical models of errors of leakage currents in logarithmic ADC, based on accumulation of a charge and pulse feedback are offered, the results of modelling are presented and the valuation of accuracy are given.

1. ФОРМУЛЮВАННЯ ПРОБЛЕМИ

В наш час найвищі технічні характеристики забезпечують логарифмічні аналого-цифрові перетворювачі (ЛАЦП) на комутованих конденсаторах, які вперше [1] були реалізовані на кафедрі автоматики та телемеханіки Національного університету "Львівська політехніка". Ці ЛАЦП реалізують на основі явищ перерозподілу і накопичення заряду у комутованих конденсаторних комірках. Хоч дослідженню ЛАЦП на комутованих конденсаторах присвячено порівняно багато робіт, ЛАЦП з накопиченням заряду вивчені в теоретичному плані недостатньо, що ускладнює їх практичну реалізацію.

Метою даної роботи є розроблення математичних моделей похибок від струмів витікання ЛАЦП з накопиченням заряду з імпульсним від'ємним зворотним зв'язком і кількісна оцінка цих похибок з урахуванням параметрів сучасних елементів.

2. ФІЗИЧНА МОДЕЛЬ ЛАЦП З НАКОПИЧЕННЯМ ЗАРЯДУ З ІМПУЛЬСНИМ ВІД'ЄМНИМ ЗВОРОТНИМ ЗВ'ЯЗКОМ

Спрощена функціональна схема ЛАЦП з імпульсним зворотним зв'язком наведена на рис.1, де позначено: БК - буферний каскад, У_у - напруга управління, ПНС – перетворювач напруга-струм, К0-К2 - аналогові ключі, КП – вихід «Кінець перетворення».

¹ Національний університет "Львівська політехніка"

² Технологічний університет "Політехніка Сьвентокжижска"
(м. Кельци, Польща)

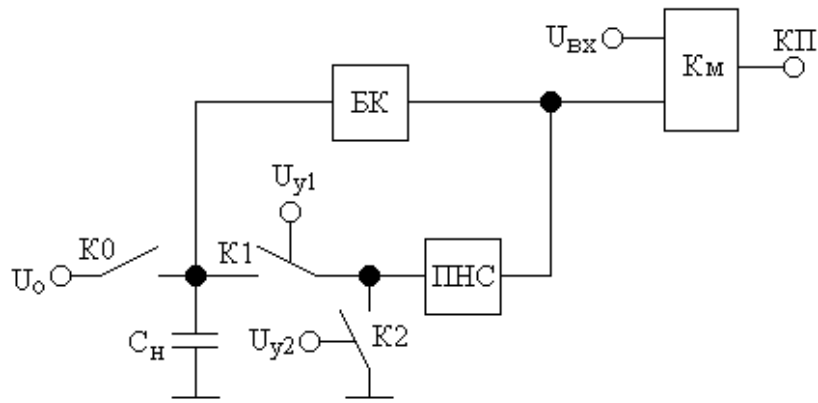


Рис. 1. Спрощена функціональна схема ЛАЦП з накопиченням заряду з імпульсним зворотним зв'язком

Оскільки реальні ключі мають різні часи включення-виключення, то при роботі такого ЛАЦП можливі випадки, коли один з ключів, наприклад, К0 ще не виключився, а другий - К1 включився. Це призведе до втрати заряду і зниження точності.

З метою підвищення точності ЛАЦП ми ввели роздільчі паузи між фазами розряду. Тривалість цих пауз повинна вибиратися достатньою для надійного спрацювання ключів. Отже, у кожному такті перетворення ЛАЦП з перерозподілом заряду матимуть місце дві фази роботи (Ф1 і Ф2), кожна з яких визначатиме вигляд моделі ЛАЦП:

- Ф1) розряд накопичуючого конденсатора, який відбувається при розімкнутих ключах К0, К2 і замкнутому ключі К1;
- Ф2) пауза: розімкнуті ключі К0, К1, а ключ К2 – замкнутий.

Ідеальна характеристика ЛАЦП з імпульсним зворотним зв'язком представлена аналітично формулою

$$N = \frac{1}{\ln \xi_{\text{ід}}} \ln \frac{U_{\text{вх}}}{U_0},$$

де $U_{\text{вх}}$ і U_0 - відповідно вхідний сигнал і опорна напруги;

$\xi_{\text{ід}}$ - ідеальне значення основи логарифму, причому

$$\xi_{\text{ід}} = \frac{1 - Yt/2C_{\text{н}}}{1 + Yt/2C_{\text{н}}}.$$

Тут Y - коефіцієнт перетворення перетворювача напруга-струм ПНС;

t - тривалість часу розряду, протягом якого замкнутий ключ К1;

C_H - ємність накопичуючого конденсатора.

В ЛАЦП з від'ємним зворотним зв'язком змінюється в процесі роботи структура (фази $\Phi 1$ і $\Phi 2$) і це необхідно врахувати при моделюванні впливу струмів витікання елементів схеми.

Електрична модель ЛАЦП з від'ємним зворотним зв'язком, яка враховує вплив струмів витікання елементів схеми, наведена на рис.2 і рис.3. У моделі враховано опори витікання накопичуючого (r_{BH}) конденсатора, вхідний опір буферного каскаду (r_{BX}) і опори аналогових ключів стік-витік (r_{CB}), стік-затвор (r_{zc}) і затвор-витік ($r_{зв}$).

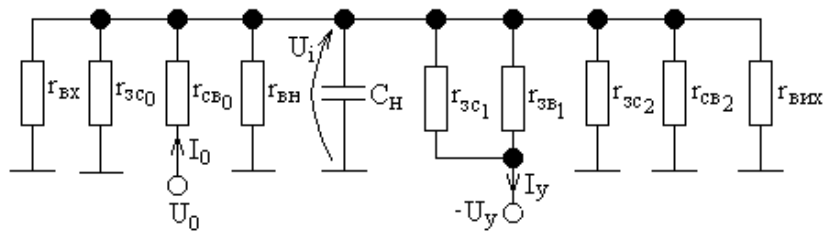


Рис. 2. Електрична модель ЛАЦП з накопиченням заряду з імпульсним зворотним зв'язком, що враховує струми витікання у фазі $\Phi 1$

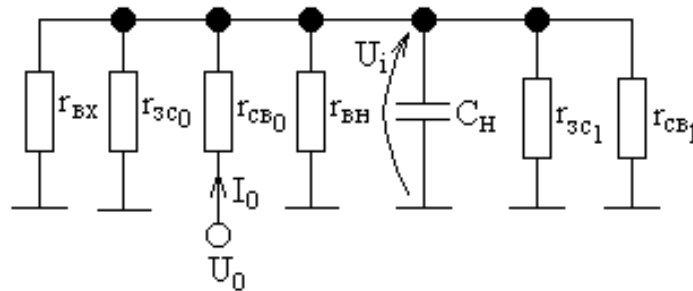


Рис. 3. Електрична модель ЛАЦП з накопиченням заряду з імпульсним зворотним зв'язком, що враховує струми витікання у фазі $\Phi 2$

3. АНАЛІЗ ВПЛИВУ СТРУМІВ ВИТІКАННЯ ЛАЦП З НАКОПИЧЕННЯМ ЗАРЯДУ З ІМПУЛЬСНИМ ВІД'ЄМНИМ ЗВОРОТНИМ ЗВ'ЯЗКОМ

Математична модель похибок від впливу струмів витікання ЛАЦП з накопиченням заряду з імпульсним від'ємним зворотним зв'язком, в якій враховано зміну структури в процесі роботи, має вигляд:

$$\Delta U_{Ni} = \frac{1}{C_H} \sum_{k=1}^{k=2} I_{\Phi k} \cdot t_{\Phi k} \cdot N,$$

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

Сумарні струми у фазах перетворення $\Phi 1$ і $\Phi 2$ знаходимо з урахуванням з'єднань між елементами електричної моделі ЛАЦП з накопиченням заряду з від'ємним зворотним зв'язком, яка враховує вплив струмів витікання елементів схеми (рис.2 і рис.3):

$$I_{\Phi 1} = I_0 - I_1 - I_y \quad \text{і} \quad I_{\Phi 2} = I_0 - I_2,$$

$$\text{де } I_0 = \frac{U_0 - U_i}{r_{св}}; \quad I_y = (U_i + U_y) \cdot \left(\frac{1}{r_{зв}} + \frac{1}{r_{зс}} \right);$$

$$I_1 = \left(\frac{2}{r_{зс}} + \frac{1}{r_{св}} + \frac{1}{r_{вн}} + \frac{1}{r_{вх}} \right); \quad I_2 = U_i \cdot \left(\frac{1}{r_{зс}} + \frac{1}{r_{зв}} + \frac{1}{r_{вн}} + \frac{1}{r_{вх}} \right)$$

де U_i - напруга на накопичуючому конденсаторі в i-ому такті перетворення.

Результати обчислення на комп'ютері абсолютної похибки ЛАЦП з накопиченням заряду з імпульсним зворотним зв'язком (ΔU_{Ni}) від дії струмів витікання за виведеними вище формулами наведені на рис.4.

Тривалість окремої фази перетворення $I_{\Phi k}$ залежить від конкретних вимог до ЛАЦП, причому тривалість фази розряду $I_{\Phi 1}$ потрібно вибирати достатніми для закінчення перехідних процесів, а тривалість паузи $I_{\Phi 2}$ повинна бути достатньою для надійного спрацювання ключів, зокрема $I_{\Phi 1}=2\text{мкс}$ і $I_{\Phi 2}=0,5\text{мкс}$, тобто тривалість одного такту перетворення $T_T=2,5$ мкс.

Як видно з рис.4, похибка від дії струмів витікання збільшується при збільшенні часу перетворення ($T_{\Pi} = T_T \cdot N$) і не перевищує 0,016 мВ при часі перетворення $T_{\Pi} \leq 50$ мс.

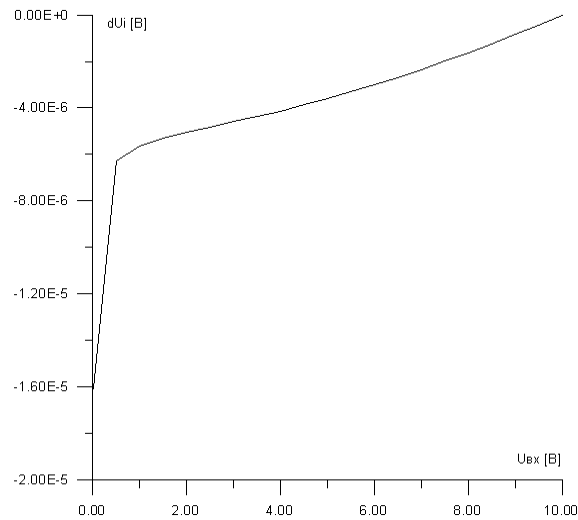


Рис. 4. Абсолютна похибка ЛАЦП з накопиченням заряду з імпульсним зворотним зв'язком (ΔU_{Ni}) від дії струмів витікання

5. ВИСНОВКИ

Проведене математичне моделювання ЛАЦП з накопиченням заряду з імпульсним зворотним зв'язком дозволяє зробити висновки, що зведена похибка перетворення від впливу струмів витікання не залежить від значення паразитних міжелектродних ємностей, збільшується при збільшенні часу перетворення і є меншою 0,02% якщо час перетворення не перевищує 50 мс.

Отримані результати корисні для комп'ютерного моделювання ЛАЦП на комутованих конденсаторах, оскільки дозволяють підвищити точність визначення характеристик ЛАЦП аналітичним шляхом.

1. Мичуда З.Р. Логарифмічні аналого-цифрові перетворювачі – АЦП майбутнього.- Львів: Простір, 2002.- 242 с. 2. Антонів У.С., Мичуда З. Р. Логарифмічні аналого-цифрові перетворювачі з накопиченням заряду. Частина 1// Вісник Національного Університету "Львівська політехніка" - Автоматика, вимірювання та керування, Л.: НУЛП, 2009, вип.639. С.37-43.