

З. Р. Мичуда, д-р. техн. наук, проф.;
Л. З. Мичуда, канд. техн. наук, доц.;
У. С. Антонів, асп.

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ СТРУМІВ ВИТІКАННЯ В ЛОГАРИФМІЧНИХ АЦП З НАКОПИЧЕННЯМ ЗАРЯДУ З ІМПУЛЬСНИМ ВІД'ЄМНИМ ЗВОРОТНИМ ЗВ'ЯЗКОМ

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.

Найвищі технічні характеристики наразі 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. Хоча ЛАЦП на комутованих конденсаторах досліджені у багатьох роботах, ЛАЦП з накопиченням заряду вивчені в теоретичному плані недостатньо, що ускладнює їх практичну реалізацію.

Метою 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.

Спрощена функціональна схема ЛАЦП з імпульсним зворотним зв'язком показана на рис. 1.

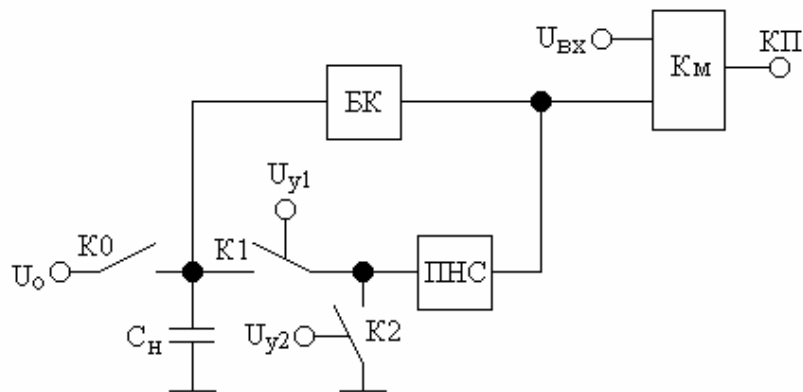


Рис. 1. Спрощена функціональна схема ЛАЦП з імпульсним зворотним зв'язком:
 БК — буферний каскад, U_y — напруга управління, ПНС — перетворювач напруга—струм,
 К0—К2 — аналогові ключі, КП — вихід «Кінець перетворення»

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

З метою підвищення точності ЛАЦП автори ввели розділові 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 накопичувального конденсатора, який відбувається у разі розімкнутих ключів 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

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

де $U_{\text{вх}}$ і U_0 — відповідно вхідний сигнал і опорна напруги; $\xi_{\text{ід}}$ — ідеальне значення основи логарифму, причому

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

де Y — коефіцієнт перетворення перетворювача напруга-струм ПНС; t — тривалість розряду, протягом якого замкнуто ключ К1; $C_{\text{н}}$ — ємність накопичувального конденсатора;

В ЛАЦП з від'ємним зворотним зв'язком під час роботи змінюється структура (фази Ф1 і Ф2) і це необхідно врахувати у моделюванні впливу струмів витікання елементів схеми.

Електрична модель ЛАЦП з від'ємним зворотним зв'язком, яка враховує вплив струмів витікання елементів схеми, показана на рис. 2 і рис. 3. У моделі враховано опори витікання ($r_{\text{вн}}$) накопичувального конденсатора, вхідний опір буферного каскаду ($r_{\text{вх}}$) і опори аналогових ключів стік-витік ($r_{\text{св}}$), стік-затвор ($r_{\text{зс}}$) і затвор-витік ($r_{\text{зв}}$).

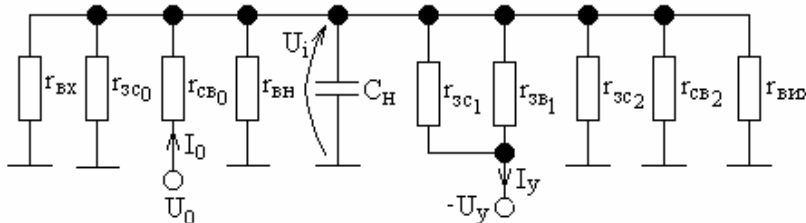


Рис. 2. Електрична модель ЛАЦП з імпульсним зворотним зв'язком, що враховує струми витікання у фазі Ф1

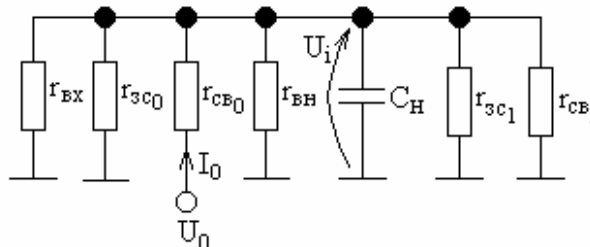


Рис. 3. Електрична модель ЛАЦП з імпульсним зворотним зв'язком, що враховує струми витікання у фазі Ф2

Математична модель похибок від впливу струмів витікання ЛАЦП з від'ємним зворотним зв'язком, в якій враховано зміну структури під час роботи, має вигляд

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

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

Сумарні струми у фазах перетворення Ф1 і Ф2 знаходимо з урахуванням з'єднань між елементами електричної моделі ЛАЦП з від'ємним зворотним зв'язком, яка враховує вплив струмів витікання елементів схеми (див. рис. 2 і рис. 3):

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

$$\text{де } I_0 = \frac{U_0 - U_i}{r_{\text{CB}}}; \quad I_y = (U_i + U_y) \left(\frac{1}{r_{\text{ЗВ}}} + \frac{1}{r_{\text{ЗС}}} \right); \quad I_1 = \left(\frac{2}{r_{\text{ЗС}}} + \frac{1}{r_{\text{CB}}} + \frac{1}{r_{\text{ВН}}} + \frac{1}{r_{\text{ВХ}}} \right);$$

$I_2 = U_i \left(\frac{1}{r_{\text{ЗС}}} + \frac{1}{r_{\text{ЗВ}}} + \frac{1}{r_{\text{ВН}}} + \frac{1}{r_{\text{ВХ}}} \right);$ U_i — напруга на накопичувальному конденсаторі в i -му такті перетворення.

Тривалість окремої фази перетворення $I_{\text{Фк}}$ залежить від конкретних вимог до ЛАЦП, причому тривалість фази розряду $I_{\text{Ф1}}$ потрібно вибирати достатніми для закінчення перехідних процесів, а тривалість паузи $I_{\text{Ф2}}$ повинна бути достатньою для надійного спрацювання ключів, зокрема $I_{\text{Ф1}} = 2 \text{ мкс}$ і $I_{\text{Ф2}} = 0,5 \text{ мкс}$, тобто тривалість одного такту перетворення $T_T = 2,5 \text{ мкс}$.

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

Очевидно, що похибка від дії струмів витікання збільшується зі збільшенням часу перетворення ($T_n = T_T N$) і не перевищує $0,016 \text{ мВ}$ для $T_n \leq 50 \text{ мс}$.

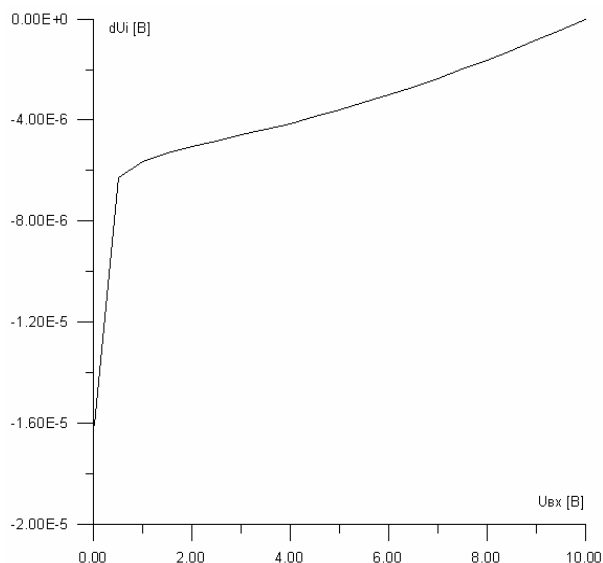


Рис. 4. Абсолютна похибка ЛАЦП з імпульсним зворотним зв'язком (ΔU_{Ni}) від дії струмів витікання

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 зі збільшенням часу перетворення і є меншою $0,02 \%$, якщо час перетворення не перевищує 50 мс .

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

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

Рекомендована кафедрою радіотехніки

Стаття надійшла до редакції 25.02.11
Рекомендована до друку 4.03.11

Мичуда Зиновій Романович — професор, **Антонів Уляна Степанівна** — аспірантка.

Кафедра «Комп'ютеризовані системи автоматики»;

Мичуда Леся Зиновіївна — доцент кафедри «Автоматизація теплових та хімічних процесів».

Національний університет «Львівська політехніка», Львів