

З. Мичуда¹, Л. Мичуда²

Національний університет “Львівська політехніка”,

¹кафедра автоматики та телемеханіки,

²кафедра автоматизації теплових і хімічних процесів

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ СТРУМІВ ВИТІКАННЯ В ЛАЦП З ПЕРЕРОЗПОДІЛОМ ЗАРЯДУ

© Мичуда З., Мичуда Л., 2005

The mathematical models of errors of logarithmic ADC, based on the effect of recharge in condensers cells, are offered, the results of modelling are presented and the valuation of accuracy are given.

Постановка проблеми. Серед множини аналого-цифрових перетворювачів з широким діапазоном вхідних величин вигідно вирізняють логарифмічні АЦП. А серед них новим перспективним напрямком є використання комірок з комутованими конденсаторами. Серед переваг при використанні комутованих конденсаторів можна відзначити їх значно вищу технологічність у виготовленні порівняно з опорами та високу точність логарифмування. У комірках з комутованими конденсаторами використовують такі явища, як перерозподіл та накопичення заряду в комутованих конденсаторах [1–5]. Відрізняються ці два явища тим, що при перерозподілі заряду на деякому (накопичувальному) конденсаторі заряд зменшується, а при накопиченні – збільшується. Більш дослідженими є логарифмічні аналого-цифрові перетворювачі (ЛАЦП) з перерозподілом заряду [3, 4], оскільки вони з’явилися значно скоріше.

Аналіз останніх досліджень. Як при перерозподілі заряду, так і при використанні явища накопичення заряду в конденсаторних комірках, похибки перетворення зумовлені неідеальністю конденсаторів, тобто відхиленням значень їх ємностей від номінального та неідеальністю ключів. Остання проявляється через передачу паразитного заряду, проникнення напруги управління ключами та струми витікання. Струми витікання паразитно розряджають конденсатори комірок логарифматорів та антилогарифматора. Їх вплив на роботу логарифмічних АЦП та аналогових функціональних перетворювачів досліджувався у [5]. Отримано значення похибки напруги на накопичувальному конденсаторі 0,89 мВ при вихідному коді $N=500$ і 3,4 мВ при $N=1000$, що фактично відповідає зведеній похибці, не більшій від 0,04 %. Проте досліджена модель містить опори елементів комірки з коефіцієнтом пропорційності, що враховує час підключення їх імпульсом перерозподілу. Якщо роботу комірки розбити на фази і для кожної з них скласти схему заміщення, за якою проведемо моделювання, можна істотно уточнити значення похибки від струмів витікання.

Завдання досліджень. Ця робота розглядає розробку уточнених математичних моделей і оцінку похибок від впливу струмів витікання в логарифмічних АЦП з перерозподілом заряду.

Фізична модель ЛАЦП з перерозподілом заряду. Спрощена функціональна схема ЛАЦП з перерозподілом заряду зводиться до схеми, показаної на рис. 1, де K_m – компаратор, БК – буферний каскад, K_0 – K_2 – аналогові ключі, C_d і C_n – дозувальний і накопичувальний конденсатори, U_{y0} – U_{y2} – сигнали управління ключами K_0 – K_2 , U_0 – опорна напруга.

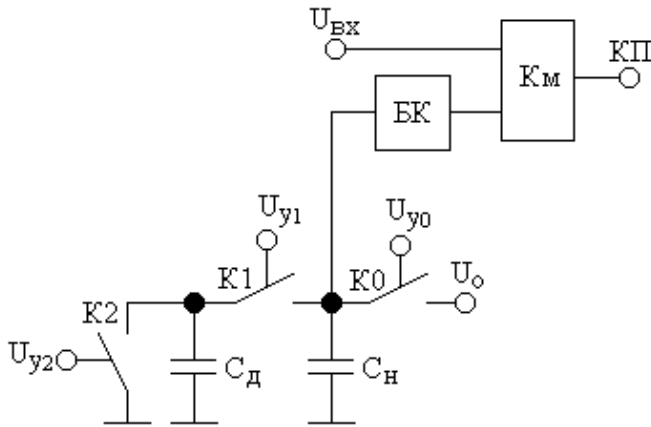


Рис. 1. Спрощена функціональна схема ЛЦП з перерозподілом заряду

опір буферного каскаду ($r_{\text{вх}}$) і опори аналогових ключів К0-К2 стік-витік ($r_{\text{св}}$), стік-затвор ($r_{\text{сз}}$) і затвор-витік ($r_{\text{зв}}$).

ЛАЦП з перерозподілом заряду є пристроєм із змінною в процесі роботи структурою (фази Ф1-Ф4) і це необхідно врахувати під час моделювання впливу струмів витікання елементів схеми.

Використавши функціональну схему рис. 1 і враховуючи зміну структури, побудуємо модель ЛАЦП з перерозподілом заряду, яка враховує вплив струмів витікання елементів схеми. Ця модель показана на рис. 2, а-г. Особливістю моделі є те, що вона змінюється відповідно до змін структури ЛАЦП у фазах Ф1-Ф4.

У моделі враховано опори витікання накопичувального ($r_{\text{вн}}$) і дозувального ($r_{\text{вд}}$) конденсаторів, вхідний

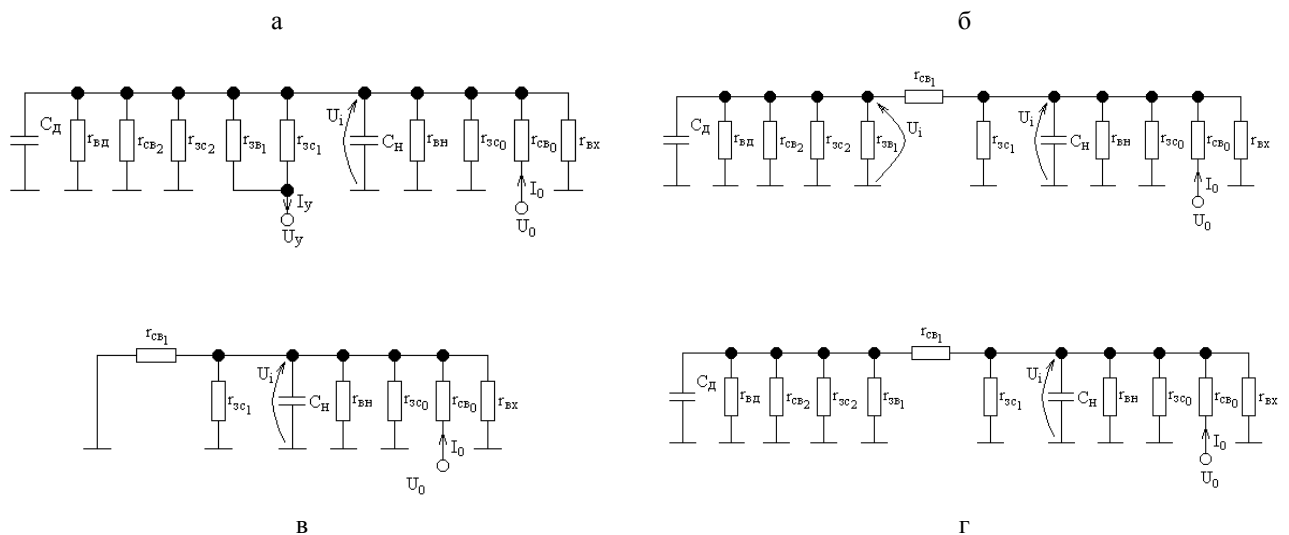


Рис. 2. Модель ЛАЦП з ПЗ:

- а – яка враховує струми витікання у фазі Ф1;
- б – яка враховує струми витікання у фазі Ф2;
- в – яка враховує струми витікання у фазі Ф3;
- г – яка враховує струми витікання у фазі Ф4

Абсолютну похибку напруги на накопичуючому конденсаторі від струмів витікання можемо визначити, скориставшись загальновідомою формулою про зміну напруги на конденсаторі ємністю C протягом інтервалу часу ΔT , викликану струмом I : $\frac{\Delta U}{\Delta T} = \frac{I}{C}$.

Беручи до уваги, що один такт перетворення складається з чотирьох фаз (Ф1-Ф4), можемо записати формулу для визначення абсолютної похибки напруги на накопичувальному конденсаторі від струмів витікання:

$$\Delta U_{Ni} = \frac{I}{C_n} \sum_{k=1}^{k=4} I_{\Phi k} \times t_{\Phi k} \times N, \quad (1)$$

де ΔU_{Ni} – абсолютна похибка напруги на накопичувальному конденсаторі від струмів витікання на N -ому такті перетворення;

$I_{\Phi k}$ – сумарний струм через накопичувальний конденсатор у фазі перетворення “к”, причому $k=1, 2, 3, 4$;

$t_{\Phi k}$ – тривалість фази перетворення “к”.

Визначимо сумарні струми через накопичувальний конденсатор у кожній фазі перетворення, скориставшись рис. 2, а–г.

Сумарний струм у фазі перетворення $\Phi 1$ знаходимо з урахуванням з’єднань між елементами моделі (рис. 2, а) за формулою

$$I_{\Phi 1} = I_0 - I_1 - I_y, \quad (2)$$

$$\text{де } I_0 = \frac{U_0 - U_i}{r_{ce}}; \quad I_y = (U_i + U_y) \times \left(\frac{1}{r_{ze}} + \frac{1}{r_{zc}} \right); \quad I_1 = U_i \left(\frac{2}{r_{zc}} + \frac{1}{r_{ce}} + \frac{1}{r_{ed}} + \frac{1}{r_{en}} + \frac{1}{r_{ex}} \right);$$

U_i – напруга на накопичувальному конденсаторі в i -ому такті перетворення.

Сумарний струм у фазі перетворення $\Phi 2$ знаходимо з урахуванням з’єднань між елементами моделі (рис. 2, б) і того, що струм через резистор r_{ce1} дорівнює нулю, оскільки він включений між вузлами з однаковим потенціалом:

$$I_{\Phi 2} = I_0 - I_2, \quad (3)$$

$$\text{де } I_2 = U_i \left(\frac{1}{r_{ze}} + \frac{1}{r_{zc}} + \frac{1}{r_{en}} + \frac{1}{r_{ex}} \right).$$

Сумарний струм у фазі перетворення $\Phi 3$ знаходимо з урахуванням з’єднань між елементами моделі (рис. 2, в) за формулою

$$I_{\Phi 3} = I_0 - I_2 - I_{ce1}, \quad (4)$$

$$\text{де } I_{ce1} = \frac{U_i}{r_{ce}}.$$

Сумарний струм у фазі перетворення $\Phi 4$ знаходимо з урахуванням з’єднань між елементами моделі (рис. 2, г) за формулою

$$I_{\Phi 4} = I_0 - I_2 - I_3, \quad (5)$$

$$\text{де } I_3 = \frac{U_i}{r_{ce} + r}; \quad r = \left(\frac{1}{r_{zc}} + \frac{1}{r_{ce}} + \frac{1}{r_{ze}} + \frac{1}{r_{ed}} \right)^{-1}.$$

Тривалість окремої фази перетворення $t_{\Phi k}$ залежить від конкретних вимог до ЛАЦП, причому тривалості фаз перерозподілу $t_{\Phi 1}$ і розряду $t_{\Phi 3}$ потрібно вибирати достатніми для закінчення перехідних процесів, зокрема $t_{\Phi 1} = t_{\Phi 3}$, а тривалість пауз $t_{\Phi 2} = t_{\Phi 4}$ повинна бути достатньою для надійного спрацювання ключів.

Нами була розроблена програма для обчислень абсолютної похибки ЛАЦП з перерозподілом заряду від струмів витікання ΔU_{Ni} за виведеними вище формулами. Графік цієї похибки показано на рис. 3. Під час обчислень було задано $t_{\Phi 1} = t_{\Phi 3} = 2$ мкс і $t_{\Phi 2} = t_{\Phi 4} = 0,5$ мкс, тобто тривалість одного такту перетворення – $T_t = 5$ мкс; похибка квантування – $\delta_k = 0,1\%$; діапазон вхідних сигналів – $U_{вх} = 1$ мВ–10 В (максимальне значення вихідного коду $N=9215$).

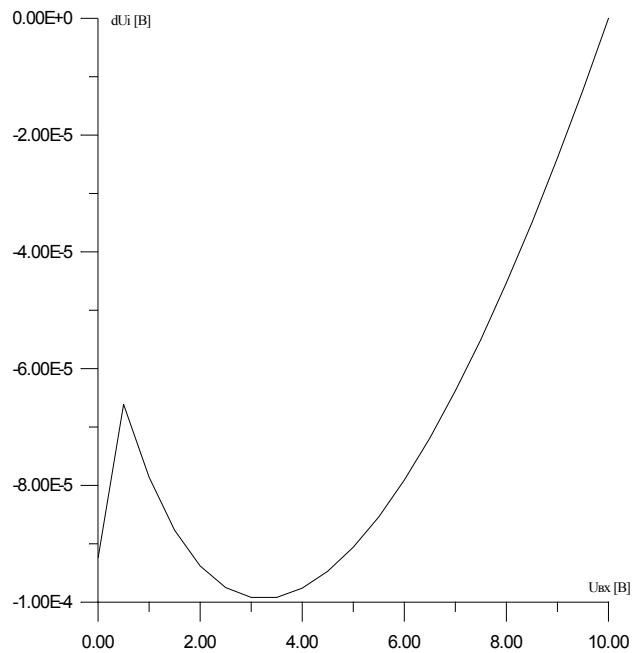


Рис. 3. Абсолютна похибка ЛАЦП з ПЗ від впливу струмів витікання

З рис. 3 можна зробити висновок, що похибка від дії струмів витікання ΔU_{Ni} не залежить від значення паразитних міжелектродних ємностей, збільшується при збільшенні часу перетворення ($T_{\Pi} = T_T \cdot N$) і не перевищує 0,1 мВ при $T_{\Pi} \leq 50$ мс.

Висновки. Результати моделювання підтвердили те, що похибка від струмів витікання не залежить від значень паразитних ємностей ключів конденсаторної комірки, а зростає при збільшенні часу перетворення та вихідного коду, хоча числові значення цієї похибки є значно уточнені порівняно з попередніми дослідженнями. За рахунок моделей за фазами перетворення бачимо, що зведена похибка від струмів витікання не перевищує 0,001 %.

1. Мулявка Я. Схеми на операционных усилителях с переключаемыми конденсаторами / Пер. с польск. – М., 1992. 2. А.с. 949663 (СССР). Способ определения логарифма / З.Р. Мычуда, В.Б. Дудыкевич. – Б.И. – 1982. – № 29. 3. Мичуда З.Р. Підвищення точності та швидкодії послідовних логарифмічних АЦП з перерозподілом заряду // Книга за матеріалами IV Міжнародної наук.-техн. конф. “Контроль і управління в технічних системах”. У 3-х т. Т.2. – Вінниця, 1997. – С. 131–136. 4. Дудыкевич В.Б., Мичуда З.Р., Мичуда Л.З. Аналогові функціональні перетворювачі на основі перерозподілу заряду // Пр. II Укр. конф. з автоматичного керування “Автоматика-95”. – Львів, 1995. – Т. 1. – С. 102–103. 5. Мичуда Л.З. Моделювання впливу струмів витікання у конденсаторних комірках функціональних перетворювачів з перерозподілом заряду // Вісник ДУ “Львівська політехніка” “Автоматика, вимірювання та керування”. – 1998. – №324. – С. 143–146.