

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ СТРУМІВ ВИТІКАННЯ В ЛОГАРИФМІЧНИХ АЦП З НАКОПИЧЕННЯМ ЗАРЯДУ НА ПАСИВНИХ ПОСЛІДОВНИХ КОНДЕНСАТОРНИХ КОМІРКАХ

Запропоновано математичні моделі похибок від струмів витікання в логарифмічних АЦП з накопиченням заряду на пасивних послідовних конденсаторних комірках, наведено результати моделювання та дано оцінку точності.

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

1. ФОРМУЛЮВАННЯ ПРОБЛЕМИ

На даний час логарифмічні аналого-цифрові перетворювачі (ЛАЦП) на комутованих конденсаторах переважають за своїми техніко-економічними характеристиками ЛАЦП інших типів [1-4]. Їх будують на основі використання явищ перерозподілу заряду (ПЗ) або накопичення заряду (НЗ) в конденсаторних комірках. Слід зауважити, що НЗ має місце в пасивних і активних конденсаторних комірках, а ПЗ лише в пасивних. Більш дослідженими є ЛАЦП з ПЗ [1,2,4], оскільки вони появились набагато скоріше, а ЛАЦП з НЗ [3,4] вивчені значно менше, зокрема, вплив струмів витікання.

Метою даної роботи є дослідження впливу струмів витікання на точність ЛАЦП з накопиченням заряду на пасивних послідовних конденсаторних комірках.

2. ПОБУДОВА ФІЗИЧНОЇ МОДЕЛІ ЛАЦП З НАКОПИЧЕННЯМ ЗАРЯДУ НА ПАСИВНІЙ ПОСЛІДОВНІЙ КОНДЕНСАТОРНІЙ КОМІРЦІ, ЯКА ВРАХОВУЄ ВПЛИВ СТРУМІВ ВИТІКАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ

Для побудови фізичної моделі ЛАЦП з накопиченням заряду на пасивній послідовній конденсаторній комірці, яка враховує вплив струмів витікання елементів, використаємо спрощену функціональну схему, наведену на рис.1, де БК - буферний каскад, СВ – схема відні-

¹ Національний університет «Львівська політехніка»

мання, K_m – компаратор, K_0 - K_4 – аналогові ключі, C_n і C_d – накопичуючий і дозуючий конденсатори, U_o – опорна напруга, U_y – напруга управління, $KП$ – сигнал “Кінець перетворення”.

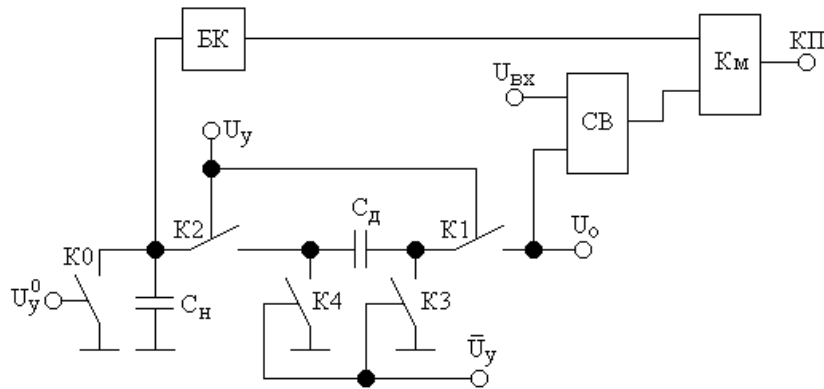


Рис. 1. Спрощена функціональна схема ЛЦП з НЗ на пасивній послідовній КК

Модель ЛАЦП з накопиченням заряду на пасивних послідовних конденсаторних комірках, яка враховує вплив струмів витікання елементів схеми наведена на рис.2 - рис.5.

В цій моделі відобразимо те, що вона змінюється відповідно до змін структури ЛАЦП в окремих фазах перетворення (Φ_1 - Φ_4), кожна з яких визначатиме вигляд моделі ЛАЦП:

Φ_1) накопичення заряду конденсатором C_n , що відбувається при розімкнутих ключах K_0 , K_3 , K_4 і замкнутих ключах K_1 , K_2 ;

Φ_2) перша пауза, при якій розімкнуті всі ключі, K_0 - K_4 ;

Φ_3) розряд дозуючого конденсатора C_d , що відбувається при розімкнутих ключах K_0 , K_1 , K_2 і замкнутих ключах K_3 , K_4 ;

Φ_4) друга пауза, при якій розімкнуті всі ключі, K_0 - K_4 .

У моделі враховано опори витікання накопичуючого ($r_{вн}$) і дозуючого ($r_{вд}$) конденсаторів, вхідний опір буферного каскаду ($r_{вх}$) і опори аналогових ключів K_0 - K_2 стік-витік ($r_{св}$), затвор-стік ($r_{зс}$) і затвор-витік ($r_{зв}$).

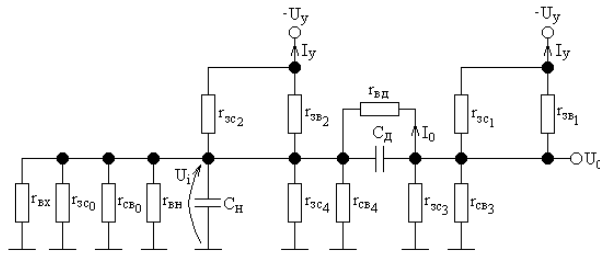


Рис. 2. Модель ЛАЦП з НЗ на пасивній послідовній КК, що враховує струми витікання у фазі $\Phi 1$

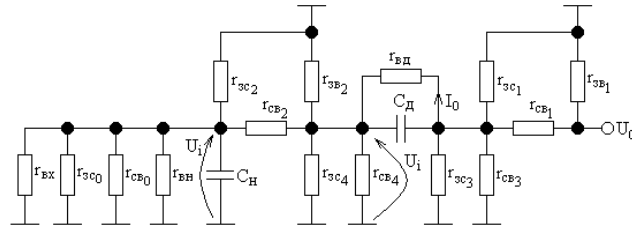


Рис. 3. Модель ЛАЦП з НЗ на пасивній послідовній КК, що враховує струми витікання у фазі $\Phi 2$

4. АНАЛІЗ ВПЛИВУ СТРУМІВ ВИТІКАННЯ ЛАЦП З НАКОПИЧЕННЯМ ЗАРЯДУ НА ПАСИВНІЙ ПОСЛІДОВНІЙ КОНДЕНСАТОРНІЙ КОМІРЦІ

Абсолютну похибку напруги на накопичуючому конденсаторі від струмів витікання можемо визначити, скориставшись загальною відомою формулою:

$$\frac{\Delta U}{\Delta T} = \frac{I}{C}, \quad (1)$$

де ΔU - зміна напруги на конденсаторі; ΔT - інтервал часу, протягом якого змінюється напруга на конденсаторі; I – струм, що тече через конденсатор; C – ємність конденсатора.

У кожному такті перетворення, як було показано вище, є чотири фази $\Phi 1$ - $\Phi 4$. Тому на основі виразу (1) можна визначити абсолютну похибку напруги на накопичуючому конденсаторі ЛАЦП з НЗ на послідовній пасивній конденсаторній комірниці як

$$\Delta U_{Ni} = \frac{1}{C_H} \sum_{k=1}^{k=4} I_{\Phi k} \cdot t_{\Phi k} \cdot N, \quad (2)$$

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

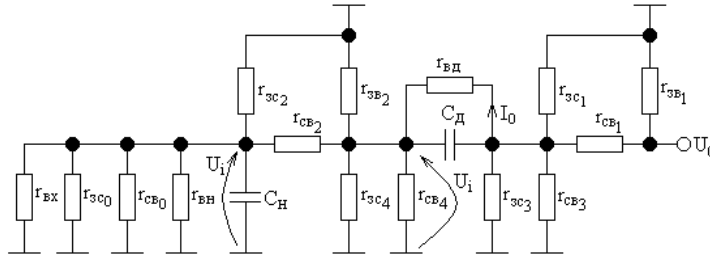


Рис.4. Модель ЛАЦП з НЗ на пасивній послідовній КК, що враховує струми витікання у фазі Ф3

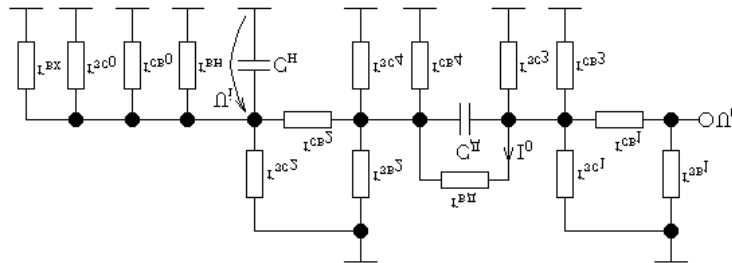


Рис. 5. Модель ЛАЦП з НЗ на пасивній послідовній КК, що враховує струми витікання у фазі Ф4

Розглядаючи рис.2 - рис.5, визначимо насамперед сумарні струми через накопичуючий конденсатор у кожній фазі перетворення.

З урахуванням з'єднань між елементами моделі (рис.2) знаходимо сумарний струм у фазі перетворення Ф1 за формулою

$$I_{\Phi 1} = I_0 - I_1 - I_y, \quad (3)$$

$$\text{де } I_0 = \frac{U_0 - U_i}{r_{\phi 0}}; \quad I_y = (U_i + U_y) \cdot \left(\frac{1}{r_{3\phi}} + \frac{1}{r_{3c}} \right);$$

$$I_1 = U_i \left(\frac{2}{r_{3c}} + \frac{2}{r_{c\phi}} + \frac{1}{r_{\phi n}} + \frac{1}{r_{\phi x}} \right);$$

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

З урахуванням з'єднань між елементами моделі (рис.3) і того, що струм через резистор $r_{c\phi 2}$ рівний нулю, оскільки він включений між вузлами з однаковим потенціалом знаходимо сумарний струм у фазі перетворення $\Phi 2$:

$$I_{\phi 2} = -I_2, \quad (4)$$

$$\text{де } I_2 = U_i \left(\frac{1}{r_{c\phi}} + \frac{2}{r_{3c}} + \frac{1}{r_{\phi n}} + \frac{1}{r_{\phi x}} \right).$$

З урахуванням з'єднань між елементами моделі (рис.4) знаходимо сумарний струм у фазі перетворення $\Phi 3$ за формулою:

$$I_{\phi 3} = I_0 - I_2 - I_{c\phi 2}, \quad (5)$$

де $I_{c\phi 2}$ - струм між стоком-витоком ключа К2, причому

$$I_{c\phi 2} = \frac{U_i}{r_{c\phi 2}}.$$

З урахуванням з'єднань між елементами моделі (рис.5) знаходимо сумарний струм у фазі перетворення $\Phi 4$:

$$I_{\phi 4} = -I_2 - I_3, \quad (6)$$

$$\text{де } I_3 = \frac{U_i}{r_{c\phi} + r}; \quad r = \left(\frac{1}{r_{3c}} + \frac{1}{r_{c\phi}} + \frac{1}{r_{3\phi}} \right)^{-1}.$$

Тривалість окремої фази перетворення $t_{\phi k}$ залежить від конкретних вимог до ЛАЦП і в частковому випадку, який найпростіше реалізується, тривалість всіх фаз однакова, тобто $t_{\phi 1} = t_{\phi 2} = t_{\phi 3} = t_{\phi 4} = \frac{1}{4}T$ (тут T – тривалість одного такту перетворення).

Графік абсолютної похибки напруги на накопичуючому конденсаторі (ΔU_{Ni}) від струмів витікання, обчислений за виведеними вище формулами, наведений на рис.6. При обчисленнях було задано $t_{\phi 1} = t_{\phi 3} = 2\text{мкс}$ і $t_{\phi 2} = t_{\phi 4} = 0,5i\hat{e}\hat{n}$, тобто - тривалість одного

такту перетворення $T_T=5$ мкс; похибка квантування $\delta_{\epsilon} = 0,1\%$; діапазон вхідних сигналів $U_{вх}=1\text{мВ}-10\text{В}$ (максимальне значення вихідного коду $N=9215$).

З рис.6 можна зробити висновок, що похибка від дії струмів витікання 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 $T_{\Pi} \leq 50$ мс (при цьому вихідний код $N \leq 10000$).

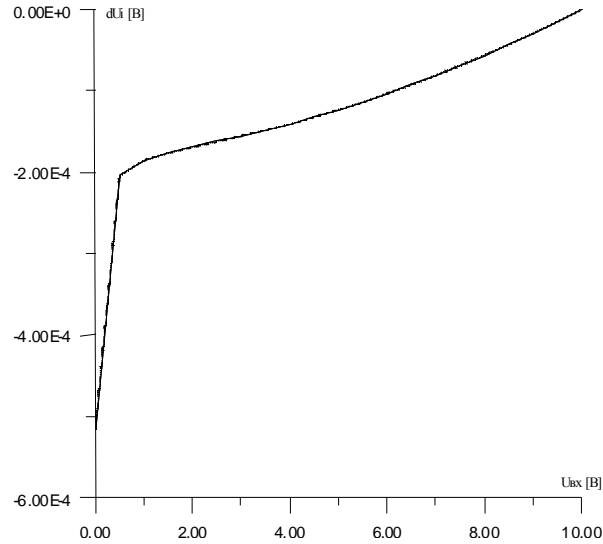


Рис.6. Абсолютна похибка від впливу струмів витікання в ЛАЦП з НЗ на пасивній послідовній КК

5. ВИСНОВКИ

На основі проведених досліджень ЛАЦП з накопиченням заряду на пасивних послідовних конденсаторних комірках:

- отримано математичну модель похибки від впливу струмів витікання;
- значення похибки від впливу струмів витікання не перевищує $0,005\%$ в діапазоні зміни вхідних сигналів $1\text{ мВ} - 10\text{ В}$;
- з похибкою від впливу струмів витікання слід рахуватися в ЛАЦП, призначених для роботи в діапазоні 60 дБ і більше.

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. Мичуда З.Р. *Аналого-цифрові перетворювачі з логарифмічною характеристикою перетворення. Огляд. Частина 1// Міжсвідомчий наук.-техн. зб. «Вимірювальна техніка і метрологія».*- Л.: Вища школа, 2000, вип.56, с.94-100. 3. Мичуда З.Р. *Аналого-цифрові перетворювачі з логарифмічною характеристикою перетворення. Огляд. Частина 2// Міжсвідомчий наук.-техн. зб. «Вимірювальна техніка і метрологія».*- Л.: Вища школа, 2000, вип.57, с.16-27. 4. Матецька Л.А., Мичуда З.Р. *Логарифмічний аналого-цифровий перетворювач з накопиченням заряду на послідовно включених конденсаторах// Зб.наукових праць «Комп'ютерні технології друкарства».*-Л.: Українська академія друкарства, 2000, №5, с. 36-43. 5. 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.*