

УДК 621.317.727

ПОМНОЖУВАЧІ ЄМНОСТІ

© Бойко О.В., Яцук В.О., 2000

ДУ “Львівська політехніка”, кафедра “Метрологія, стандартизація і сертифікація”

Розглянуто методи побудови помножувачів ємності. Запропоновано структуру, виведено функцію перетворення та проаналізовано похибки багатодіапазонної кодо-керованої активної міри ємності.

Design methods of the active capacitance multiplier is discussed in this paper. The new active capacitance multiplier scheme is proposed. The transformation function and error analysis of the code-control and multi-land active capacitance measure is made too.

Через технологічні та конструктивні обмеження навіть однозначні найточніші міри ємності можуть бути реалізовані лише у відносно вузькому діапазоні від 100 пФ до 1 мкФ. Однак на практиці в даний час використовуються конденсатори ємністю до 1 Ф, що вимагає забезпечення єдності вимірювань у цьому діапазоні. Для побудови ємнісних мір у вказаному діапазоні доцільно використовувати помножувачі ємності.

Найпростіша схема помножувача ємності містить тільки один операційний підсилювач (ОП) із 100%-м від’ємним зворотним зв’язком, в коло додатного зворотного зв’язку якого увімкнена RC-ланка, причому його вихід та неінвертуючий вхід сполучені двома резисторами, а неінвертуючий вхід через конденсатор під’єднаний до спільної шини*. Входом помножувача служить точка з’єднання резисторів відносно спільної шини. Імітований помножувачем ємнісний опір Z_{1j} визначається співвідношенням

$$Z_{1j} = \left[\frac{1}{j\omega C \left(1 + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right)} \right] \left\{ 1 + \frac{1}{j\omega C (R_1 + R_2)} \left[\underline{M}_{\text{сф}} + \frac{I^+ R_1}{U_i} (1 + \underline{M}_{\text{сф}}) + \frac{e}{U_i} (1 + j\omega C R_1) \right] \right\} \quad (1)$$

де C – ємність зразкового конденсатора; R_1, R_2 – опори резисторів, увімкнених між входом помножувача та відповідно між неінвертуючим входом і виходом ОП; k – коефіцієнт підсилення розімкненого ОП; $\underline{M}_{\text{сф}}$ – коефіцієнт послаблення синфазної складової; e – напруга зміщення ОП; I^+ – вхідний струм неінвертуючого входу ОП; U_i – вхідна напруга помножувача ємності.

Як видно з формули (1), найбільшим недоліком найпростішої схеми помножувача ємності є наявність активної складової, значення якої залежить від коефіцієнта помноження $1 + R_1/R_2$.

* Ноткин Ю.Р. Функциональные генераторы и их применение. Л., 1988.

Усунути активну складову ємнісного опору можна, ускладнюючи схему (див. рисунок).

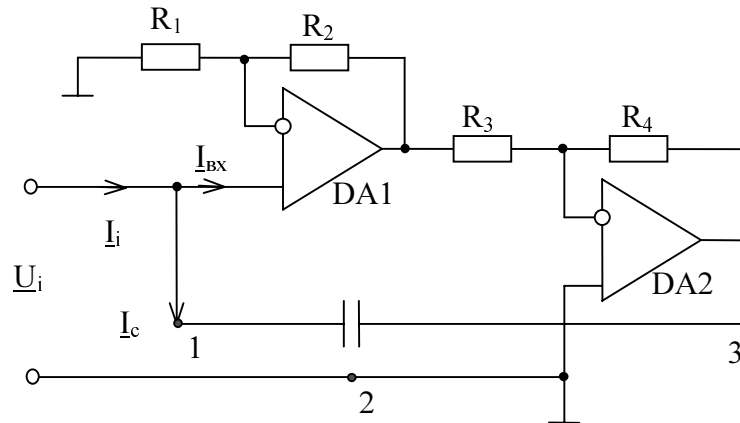


Схема помножувача ємності.

Для вхідного вузла схеми запишемо два рівняння Кірхгофа

$$\begin{cases} I_i - I_c + I_1^+ - I_{1Bx} = 0 \\ \underline{U}_i - I_c X_c + \underline{U}_2 = 0 \end{cases} \quad (2)$$

де \underline{U}_i , I_i – відповідно вхідні напруга та струм помножувача ємності; I_c – струм, що протікає через опорний конденсатор; I_1^+ , I_{1Bx} – відповідно зворотна (некерована) та режимна складові вхідного струму неінвертуючого входу ОП DA1; $X_c = 1/j\omega c$ – ємнісний опір опорного конденсатора; \underline{U}_2 – вихідна напруга ОП DA2.

Вихідну напругу \underline{U}_2 визначасмо як

$$\begin{aligned} \underline{U}_2 = \underline{U}_i k_{1H} k_{2H} \left(1 - \frac{1}{k_1}\right) \left(1 - \frac{1}{k_2}\right) \left(1 + \underline{M}_{сф}\right) + (e_1 + I_1^- R_{12}) k_{1H} k_{2H} \left(1 - \frac{1}{k_1}\right) \left(1 - \frac{1}{k_2}\right) \\ + (e_2 + I_2^- R_{34}) k_{2H} \left(1 - \frac{1}{k_2}\right) \end{aligned} \quad (3)$$

де $k_{1H} = 1 + R_2/R_1$, $k_{2H} = R_4/R_3$ – коефіцієнти передачі підсилювачів DA1 та DA2 із зворотним зв'язком; $k_1 = (1 + k_{1H}) \left(\frac{1}{k_{01}} + j \frac{\omega}{\omega_1}\right)$, $k_2 = k_{2H} \left(\frac{1}{k_{02}} + j \frac{\omega}{\omega_2}\right)$ – петльове підсилення ОП

DA1 та DA2; $\underline{M}_{сф} = M_{сф} \left(1 + j \frac{\omega}{\omega_1}\right)$ – коефіцієнт послаблення синфазної складової ОП

DA1; e_1 , e_2 – напруги зміщення DA1 та DA2; I_1^- , I_2^- – вхідні струми інвертуючих входів ОП DA1 та DA2; $\omega_1 = \frac{\omega_{ОП1}}{k_{01}}$, $\omega_2 = \frac{\omega_{ОП2}}{k_{02}}$ – кругові частоти одиничного підсилення ОП

DA1 та DA2; $R_{12} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$; $R_{34} = \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}$; $\omega_{ОП1}$, $\omega_{ОП2}$ – частоти зрізу АЧХ ОП DA1 та

DA2; k_{01} , k_{02} – коефіцієнти передачі розімкнених ОП DA1 та DA2.

У першому наближенні вважатимемо обидва ОП ідентичними, тобто $\omega_1 = \omega_2$; $k_{01} = k_{02} = k_0$, та позначимо $\Omega_1 = \omega / \omega_1$. Враховуючи, що $I_{1\text{ВХ}} = U_i / Z_{1\text{ВХ}}$, з першого рівняння системи (2) визначимо струм I_i помножувача

$$I_i = \frac{U_i}{Z_{1\text{ВХ}}} + I_c - I_1^+, \quad (4)$$

Імітовану схемою провідність Y_i знаходимо за законом Ома (після нескладних перетворень)

$$Y_i = Y_{\text{ВХ}} - \frac{I_1^+}{U_i} + \frac{I_c}{U_i}, \quad (5)$$

де $Y_{\text{ВХ}} = \text{Re}Y + j\text{Im}Y$, $\text{Re}Y$, $\text{Im}Y$ – відповідно комплексна вхідна провідність, її дійсна та уявна частини.

Перші два члени виразу (5) визначають активну складову імітованої провідності, яка повністю залежить від параметрів використаного неінвертуючого ОП DA1. Останній член виразу (5) із врахуванням співвідношення (3) дорівнюватиме

$$\begin{aligned} \frac{I_c}{U_i} = & j\omega C k_{1\text{H}} k_{2\text{H}} - j\omega C k_{1\text{H}} k_{2\text{H}} \left\{ \frac{1}{k_{1\text{H}} k_{2\text{H}}} + (1 + k_{1\text{H}} + k_{2\text{H}}) \delta_0 + M_{\text{сф}} + \right. \\ & + \frac{1}{k_{2\text{H}} U_i} \left[I_1^- R_{12} + e_1 k_{2\text{H}} + \frac{I_2^- R_{34} + e_2 (1 + k_{2\text{H}})}{k_{1\text{H}}} \right] - j\Omega_1 (1 + k_{1\text{H}} + k_{2\text{H}} + k_0 M_{\text{сф}}) + \\ & \left. + j \frac{\Omega_1}{U_i} \left[\frac{e_2}{k_{1\text{H}}} + e_1 (1 + k_{1\text{H}} + k_{2\text{H}}) + \frac{1 + k_{1\text{H}}}{k_{2\text{H}}} \right] \right\} \quad (6) \end{aligned}$$

Як видно з виразу (6), перший член являє собою помножену на коефіцієнт $k_{1\text{H}} k_{2\text{H}}$ ємнісну провідність опорного конденсатора, а другий член у фігурних дужках – її мультиплікативну складову. На практиці значення коефіцієнта $k_{1\text{H}} k_{2\text{H}}$ при високих точностях відтворення ємностей не може перевищувати значень порядку декілька сотень. Отже, максимальна відтворювана цією активною схемою ємність практично не перевищуватиме значень 1000 мкФ. Великою перевагою розглянутої схеми є можливість автоматичного перемикавання коефіцієнта множення.

У разі необхідності збільшення максимальних значень відтворюваних ємностей пропонуємо використовувати як конденсатор C еквівалентну зірку ємностей, увімкнених між точками 1, 2, 3 схеми (рисунок), відповідно C_1 , C_2 , C_3 . Еквівалентна ємність між точками 2, 3 навантажуватиме ОП DA2 і не впливатиме на відтворювану схемою ємність. Ємність між точками 1 та 3 C_{13} визначатиме початкову стабільну та точно відому початкову ємність

$$X_{13} = \frac{1}{j\omega C_{13}} = X_1 + X_3 + \frac{X_1 X_3}{X_2} = \frac{1}{j\omega} \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{\frac{C_1}{C_2} C_3} \right), \quad (7)$$

Опорною слугуватиме ємність C_{12} між точками 1 та 2 схеми

$$X_{12} = \frac{1}{j\omega C_{12}} = X_1 + X_2 + \frac{X_1 X_2}{X_3} = \frac{1}{j\omega} \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{\frac{C_1}{C_3} C_2} \right) \quad (8)$$

Як видно із рівняння (8) коефіцієнт збільшення еквівалентної ємності C_{12} переважно визначатиметься її третім членом, тобто співвідношенням між ємностями конденсаторів C_1 , C_2 , C_3 . Якщо, наприклад, $C_1 = C_2 = 1$ мкФ, а $C_3 = 1$ пФ, то еквівалентна відтворювана схемою ємність дорівнюватиме 1Ф, а з урахуванням коефіцієнта помноження активної схеми – може сягати понад 100Ф. Причому похибка відтворення таких великих ємностей визначатиметься в основному похибками опорних конденсаторів та масштабних резисторів.

УДК 621.391.3

ПРИСТРІЙ ДЛЯ ДІЛЕННЯ, ЩО ПРАЦЮЄ У ДВОХ СИСТЕМАХ ЧИСЛЕННЯ

© Дудикевич В.Б., Баран Р.Д., Максимович В.М., 2000

ДУ “Львівська політехніка”, кафедра “Автоматика і телемеханіка”

Розглянуто принцип роботи пристрою для ділення число-імпульсного коду на паралельний код, що може працювати у двійковій і двійково-десятковій системах числення. Досліджено похибки перетворення пристрою.

The work principle of device for dividing number-pulse code by parallel code, which can work in binary or binary-decimal systems, is considered. Device converting errors are investigated.

Пристрої для ділення широко використовують в різних вимірювальних приладах. При цьому в одних випадках результат перетворення необхідно мати у двійковому коді, а в інших – у двійково-десятковому. Отже, з погляду універсалізації засобів обробки актуальним є завдання створення дільників, що працюють у двох системах числення.

У даній роботі досліджено похибки перетворення пристрою для ділення число-імпульсного коду на паралельний код, який є модифікацією відомого пристрою [1]. Ці пристрої вигідно відрізняються від інших можливістю простого розширення діапазонів вхідних величин, що забезпечується використанням в їх роботі принципу змінної розрядності [2]. Модифікація структури [1] полягає в новій організації фіксації кількості розрядів, задіяних в роботі пристрою для кожного піддіапазону дільника.

На рисунку наведена структурна схема пристрою для ділення. До його складу входять: схема віднімання СВ, регістри R_1 - R_3 , керовані комбінаційні суматори КС1 і КС2, перетворювачі кодів ПК1 і ПК2, логічний елемент І, логічна схема ЛС і керований лічильник ЛЧ.