

## ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ПРИ ДОБУВАННІ КВАДРАТНОГО КОРЕНЯ ЗА ДОПОМОГОЮ АНАЛОГОВОГО ПЕРЕМНОЖУВАЧА НАПРУГ

© Наталя Біцаник, Оксана Вітер, Юрій Вітер, 2000

Державний університет "Львівська політехніка", кафедра "Метрологія, стандартизація та сертифікація", вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

*Запропоновано метод корекції похибки, що виникає при добуванні квадратного кореня за допомогою аналогового перемножувача напруг, який полягає в компенсації вихідної напруги зміщення, а також напруг зміщення по входах аналогового перемножувача напруг.*

*Предложен метод коррекции погрешности, возникающей при извлечении корня квадратного, с помощью аналогового перемножителя напряжений, который состоит в компенсации выходного напряжения смещения, а также напряжений смещения по входам аналогового перемножителя напряжений.*

*The method of correction of error is suggested. It plant of compensation output offset voltages, feedthrough X and Y of analogue voltage multiplier. The analogue voltage multiplier use for sqier rooting.*

Одним з важливих застосувань аналогових перемножувачів напруг (АПН) є виконання операції добування квадратного кореня. Зокрема, це необхідно при створенні вимірювачів тиску з сапфіровими первинними вимірювальними перетворювачами (ПВП), вихідний струм яких пропорційний квадрату тиску. Лінеаризація функції перетворення сапфірового ПВП досягається його послідовним ввімкненням з пристроєм для добування квадратного кореня.

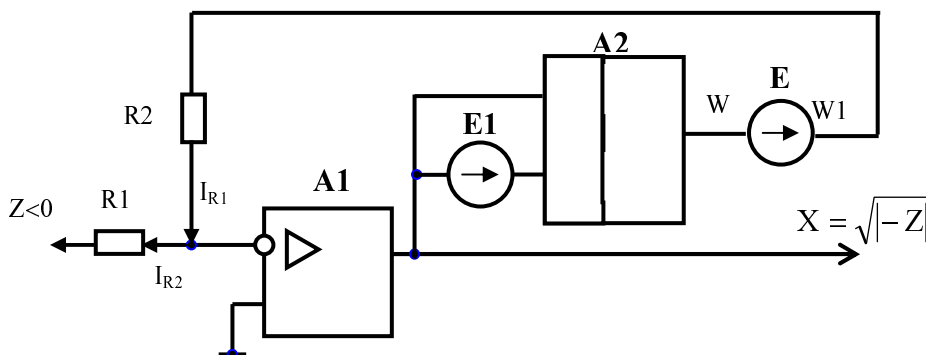
Похибка найбільш точних АПН (AD534L, AD734B) в режимі добування квадратного кореня становить 0.25% [1], що в багатьох випадках не

задовольняє сучасних вимог. Тому актуальним є опрацювання методів підвищення точності АПН при використанні їх в згаданому режимі.

Схема ввімкнення АПН при добуванні квадратного кореня [1] наведена на рисунку, де А1 – операційний підсилювач; R1, R2 – резистори зворотного зв'язку; А2 – аналоговий перемножувач напруг; Е1, Е2 – регульовані джерела компенсуючих напруг; Z < 0 – вхідна напруга; X – вихідна напруга.

В ідеальному випадку при E1=E2=0, R1=R2=R,

$$W_{1д} = W_{д} = XY = X^2 \quad (1)$$



Функціональна схема пристрою для добування квадратного кореня

Струми резисторів зворотного зв'язку операційного підсилювача А1 [2],

$$I_{R1} = \frac{Z}{R1}, \quad (2)$$

$$I_{R2} = \frac{W1}{R2}, \quad (3)$$

$$I_{R1} = I_{R2}. \quad (4)$$

Рівняння (4) з врахуванням (2) і (3) набуває вигляду:

$$\frac{Z}{R1} = \frac{W1}{R2}. \quad (5)$$

Підставивши в (5)  $R1 = R2 = R$  та (1), отримаємо

$$X_{id} = \sqrt{|Z|} \quad (6)$$

Слід зазначити, що пристрій, показаний на рисунку, реалізується відповідним під'єднанням виводів інтегральних АПН і не вимагає застосування додаткових елементів [1].

Як показано в [3], функція перетворення реального АПН, на відміну від (1), може бути подана у вигляді степеневого ряду.

$$W = W(X, Y) = a_{00} + a_{10}X + a_{01}Y + a_{11}XY + a_{20}X^2 + a_{02}Y^2 + \dots \\ \dots + a_{30}X^3 + a_{21}X^2Y + a_{12}XY^2 + a_{03}Y^3 + \dots \quad (7)$$

Для спрощення подальших викладок обмежимося членами розкладу в ряд (7) до третього порядку включно та прийемо значення масштабного коефіцієнта  $a_{11} = 1$  [1/B], діапазон зміни вхідних (X, Y) та вихідної напруги АПН (W), які дорівнюють  $+(0 \dots 1)B$ , а всі коефіцієнти степеневого ряду (5), крім  $a_{11}$ ,  $a_{ij} \ll 1$ .

Для компенсації в (7) впливу вихідної напруги зміщення  $a_{00}$ , а також напруг зміщення по входах X та Y –  $a_{10}X$  та  $a_{01}Y$ , відповідно, встановимо напруги компенсуючих джерел

$$E2 = -a_{00}, \quad (8)$$

$$E1 = -(a_{10} + a_{01}). \quad (9)$$

В схемі (див. рисунок) напруга

$$W1 = W(X, Y) + E2 = W(X, X + E1) + E2. \quad (10)$$

Підставивши в (10) функцію (7), враховуючи (8), (9) та знехтувавши малими величинами другого порядку, отримаємо

$$W1 = W1(X) = a_{00} + a_{10}X + a_{01}X + a_{11}X^2 + a_{20}X^2 + a_{02}X^2 + \dots \\ \dots + a_{30}X^3 + a_{21}X^3 + a_{12}X^3 + a_{03}X^3 - (a_{10} + a_{01})X - a_{00}. \quad (11)$$

$$W1 = W1(X) = (1 + A_2)X^2 + A_3X^3, \quad (12)$$

де  $A_2 = a_{20} + a_{02}$ ,  $A_3 = a_{30} + a_{21} + a_{12} + a_{03}$ .

Виконаємо калібрування пристрою (див. рисунок) при  $|Z|_{\max} = -1$  В, задавши  $R1 = R$ ,

$$R2 = R(1 + A_2 + A_3). \quad (13)$$

Тоді, згідно з (5), після підстановки в нього (12) та (13), отримаємо

$$|Z| = X^2 \cdot (1 + A_2 + A_3X) \cdot \left( \frac{1}{1 + A_2 + A_3} \right). \quad (14)$$

Перевірка виконана, підставивши в (14)  $|Z| = 0$  та  $|Z|_{\max} = 1$  В дає  $X = 0$  та  $X_{\max} = 1$  В, відповідно. Це підтверджує коректність виконання операцій встановлення нуля та калібрування, реалізованих введенням джерела  $E2 = -a_{00}$  та зміною опору резистора  $R2$  (13).

Розклавши третій співмножник в (14) в ряд Тейлора та обмежившись першими двома членами розкладу, з врахуванням того, що  $A_2 \ll 1$ ,  $A_3 \ll 1$ , а  $X \approx \sqrt{|Z|}$ , отримаємо

$$|Z| \approx X^2 \cdot (1 + A_2 + A_3X) \cdot (1 - A_2 - A_3), \quad (15)$$

$$|Z| \approx X^2 (1 - A_3 + A_3X) \approx X^2 (1 - A_3 + A_3\sqrt{|Z|}), \quad (16)$$

Наближений розв'язок рівняння (16) має вигляд

$$X = \sqrt{|Z|} (1 + 0.5A_3 - 0.5A_3\sqrt{|Z|}). \quad (17)$$

Зведена похибка при добуванні квадратного кореня з врахуванням (17) становить

$$\delta = \frac{|X - X_{id}|}{X_{\max}} = \left| \sqrt{|Z|} (1 + 0.5A_3 - 0.5A_3\sqrt{|Z|}) - \sqrt{|Z|} \right|, \quad (18)$$

$$\delta = \left| 0.5A_3 (\sqrt{|Z|} - |Z|) \right|. \quad (19)$$

Аналіз показує, що зведена похибка (19) має максимум, який можна знайти, розв'язавши рівняння

$$\frac{\partial \delta}{\partial Z} = \left| 0.5A_3 \left( \frac{0.5}{\sqrt{|Z|}} - 1 \right) \right| = 0, \quad (20)$$

звідки  $|Z| = 0.25$ . (21)

Основна похибка, що має місце при добуванні квадратного кореня, отримана підстановкою (21) в (17) становить

$$\delta_0 = \delta_{\max} = \delta(0.25) = |A_3| / 8. \quad (22)$$

Якщо припустити, що похибка перемноження АПН - є викликається виключно членами третього порядку присутнім в (7), тобто

$$|A_3| \leq \varepsilon, \quad (23)$$

тоді  $\delta_0 = \varepsilon / 8$ . (24)

Експериментальні дослідження, проведені нами, показали, що  $A_3 = (0.25 \dots 0.40)\epsilon$ . Це підтверджує припущення (23).

При застосуванні АПН типу AD734В з похибкою перемноження  $\epsilon = 0.25\%$  внаслідок застосування трьох регулювань (E1, E2, R2) похибка добування квадратного кореня, відповідно з (24) не перевищуватиме

$$\delta_0 = 0.25\% / 8 = 0.03\%.$$

1. *Design-in reference manual. Analog Devices, 1996.*
2. *Применение прецизионных аналоговых микросхем / А.Г. Алексенко, Е.А. Коломбет, Г.И. Стародуб. 2-е изд., перераб и доп. М. 1985.*
3. *Чайківський О.І. Структурні методи підвищення точності аналогових помножувальних пристроїв // Автоматика. 1977. № 2.*