

УДК 621.317.727

О.В. Бойко, П.Г. Столярчук

Національний університет "Львівська політехніка",  
кафедра "Метрологія, стандартизація та сертифікація"

**КОМПЕНСАЦІЯ ВПЛИВУ ОПОРІВ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ  
В АКТИВНИХ ІМІТАТОРАХ ОПОРУ  
З ФУНКЦІЄЮ ПЕРЕДАЧІ  $R_{iM}=R_0(1-\mu)$**

© Бойко О.В., Столярчук П.Г., 2002

**Проаналізовано вплив опорів ліній зв'язку в активних імітаторах з функцією передачі  $R_{iM}=R_0(1-\mu)$ . Запропоновано структури кодокерованих мір опору з компенсацією впливу з'єднувальних провідників.**

**The influence of wire errors of active resistance calibrator with transformation function  $R_{iM}=R_0(1-\mu)$  is analyzed. The circuits of code-control resistance measures with compensation influence of wire resistance are proposed.**

При побудові кодокерованих мір опору застосовують різні функції передачі [1, 2]. Однак найпоширенішими є такі функції [3, 4, 5, 6]

$$R_{iM}=R_0\mu, \quad R_{iM}=R_0(1-\mu), \quad R_{iM}=R_0(1+\mu),$$

де  $R_{iM}$  – значення імітованого опору,  $R_0$  – значення опору зразкового резистора,  $\mu$  – коефіцієнт передачі кодокерованого подільника напруги.

Детальний аналіз впливу ліній зв'язку виконаний для активних імітаторів з функцією передачі  $R_{iM}=R_0\mu$  [7, 8, 9]. Аналіз впливу опорів ліній зв'язку для активних імітаторів із функцією передачі  $R_{iM}=R_0(1-\mu)$  у літературі не зустрічається, незважаючи на те, що ця функція широко використовується в промисловості для побудови кодокерованих мір опору. Очевидно, що необхідність компенсації впливу опорів з'єднувальних ліній має велике значення.

При двопровідній схемі під'єднання опори ліній зв'язку додаються до значення імітованого опору і абсолютна похибка імітації дорівнює

$$\Delta R = 2R_L,$$

де  $R_L$  – опір однієї лінії зв'язку.

Застосування чотирипровідної схеми під'єднання дає можливість зменшити вплив опорів з'єднувальних ліній. На рис. 1 наведена структурна схема такого активного імітатора опору.

Опори ліній зв'язку  $R_{L1}$  і  $R_{L4}$  увімкнені послідовно з високоомними входами операційних підсилювачів DA1 і DA2, а опір з'єднувального провідника  $R_{L3}$  під'єднаний послідовно з вихідним опором підсилювача DA2 і тому їх впливом на точність імітації опору можна нехтувати.

Значення імітованого опору між точками 1 і 2 визначається з такого виразу

$$R_{iM} = (R_0 + R_{L2})(1-\mu). \quad (1)$$

Абсолютна похибка імітації опору від впливу опору лінії  $R_{L2}$  дорівнює

$$\Delta R = R_{L2}(1-\mu). \quad (2)$$

Відносна похибка визначається з виразу

$$\delta = \frac{R_{L2}}{R_{iM}}(1-\mu) = \frac{R_{L2}}{R_0}. \quad (3)$$

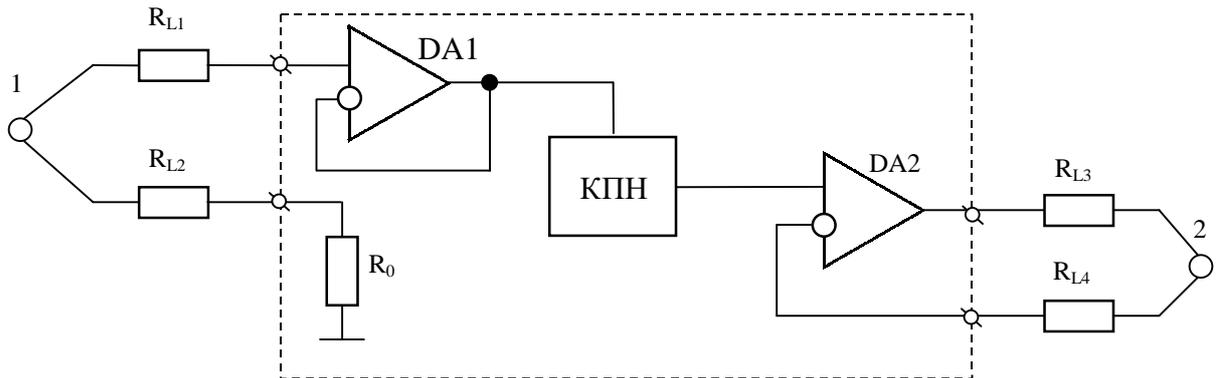


Рис. 1. Структурна схема активного імітатора з чотирьохпроводною лінією зв'язку

Як видно з виразу (3), відносна похибка від впливу лінії зв'язку  $R_{L2}$  однакова для всього діапазону імітації опору і залежить тільки від значення опору зразкового резистора. Для зменшення похибки необхідно збільшувати значення опору  $R_0$ .

Коефіцієнт послаблення впливу опорів ліній зв'язку в децибелах визначається з виразу

$$K_{\Pi} = 20 \lg \frac{2R_L}{\Delta R}. \quad (4)$$

Після відповідної підстановки отримаємо

$$K_{\Pi} = 20 \lg \frac{2R_0}{R_{iM}}. \quad (5)$$

На рис. 2 наведений графік залежності коефіцієнта послаблення  $K_{\Pi}=f(R_0/R_{iM})$  в логарифмічному масштабі.

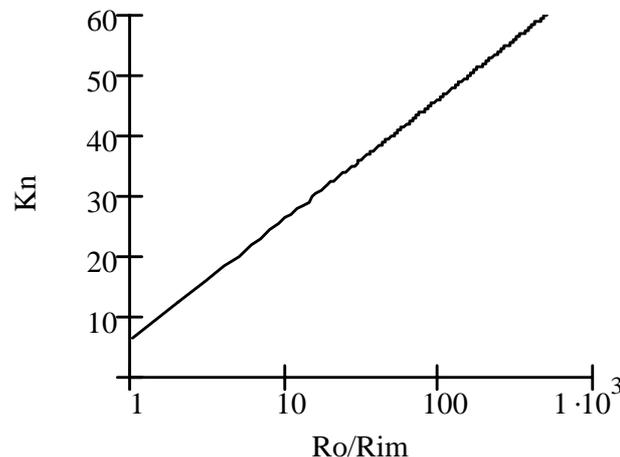


Рис. 2. Графік залежності коефіцієнта послаблення впливу опору ліній зв'язку

Як видно з графіка, при  $\frac{R_0}{R_{iM}} = 1$  коефіцієнт послаблення мінімальний і дорівнює 8 дБ,

при збільшенні відношення  $\frac{R_0}{R_{iM}}$  на декаду коефіцієнт послаблення збільшується на 20 дБ.

Для повної компенсації впливу опору лінії  $R_{L2}$  необхідно застосовувати компенсаційні схеми за напругою або за струмом.

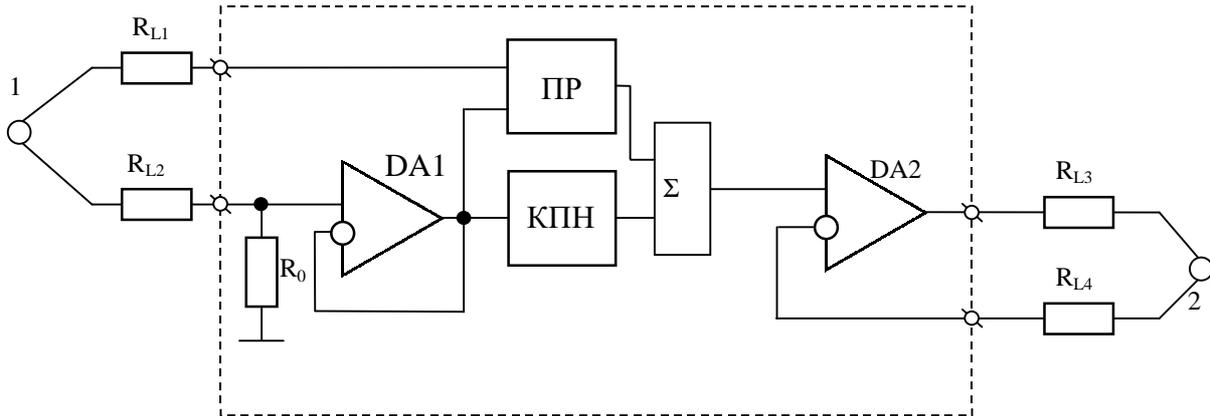


Рис. 3. Структурна схема активного імітатора з компенсацією впливу опору лінії зв'язку за напругою

На рис. 3 наведена схема активного імітатора опору з компенсаційною схемою за напругою, яка побудована на підсилювачі різниці двох сигналів ПР і суматорі  $\Sigma$ .

На входи суматора надходять напруги, значення яких визначаються такими виразами

$$U_1 = I_{\text{вх}}(R_0 + R_{L2}) + \Delta U_2 - I_{\text{вх}} R_0 + \Delta U_1 = I_{\text{вх}} R_{L2} + \Delta U_1 + \Delta U_2. \quad (6)$$

$$U_2 = (I_{\text{вх}} R_0 - \Delta U_1)\mu, \quad (7)$$

де  $\Delta U_1$ ,  $\Delta U_2$  – напруги зміщення нульового рівня операційного підсилювача DA1 і підсилювача різниці ПР.

Значення напруги в точці 2 визначається з виразу

$$U_2 = I_{\text{вх}} R_0 \mu + I_{\text{вх}} R_{L2} + \Delta U_1(1 - \mu) + \Delta U_2 + \Delta U_3 + \Delta U_4, \quad (8)$$

де  $\Delta U_3$  – напруга зміщення нульового рівня суматора,  $\Delta U_4$  – напруга зміщення нульового рівня операційного підсилювача DA2.

Напруга між точками 1 і 2 дорівнює

$$U_{12} = I_{\text{вх}}(R_0 + R_{L2}) - I_{\text{вх}} R_0 \mu - I_{\text{вх}} R_{L2} - \Delta U_1(1 - \mu) - \Delta U_2 - \Delta U_3 - \Delta U_4. \quad (9)$$

Відповідно імітований опір визначається з виразу

$$R_{\text{ім}} = R_0(1 - \mu) - \frac{\Delta U_1}{I_{\text{вх}}}(1 - \mu) - \frac{\Delta U_2 + \Delta U_3 + \Delta U_4}{I_{\text{вх}}}. \quad (10)$$

Як видно з виразу (9), вплив опору лінії зв'язку  $R_{L2}$  компенсується повністю. На похибку імітації опору в основному, впливають напруги зміщення нульового рівня операційних підсилювачів, підсилювача різниці і суматора. Абсолютна похибка дорівнює

$$\Delta R = \frac{1}{I_{\text{вх}}} \left( \Delta U_1 \mu - \sum_{i=1}^4 \Delta U_i \right). \quad (11)$$

Відносна похибка від впливу напруги зміщення аналогових вузлів дорівнює

$$\delta = \frac{1}{U_{\text{вх}}} \left( \Delta U_1 \mu - \sum_{i=1}^4 \Delta U_i \right). \quad (12)$$

На рис. 4 наведена структурна схема активного імітатора опору з компенсацією впливу опору лінії зв'язку за струмом. Схема компенсації побудована на операційному підсилювачі DA2 з резисторами  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ .

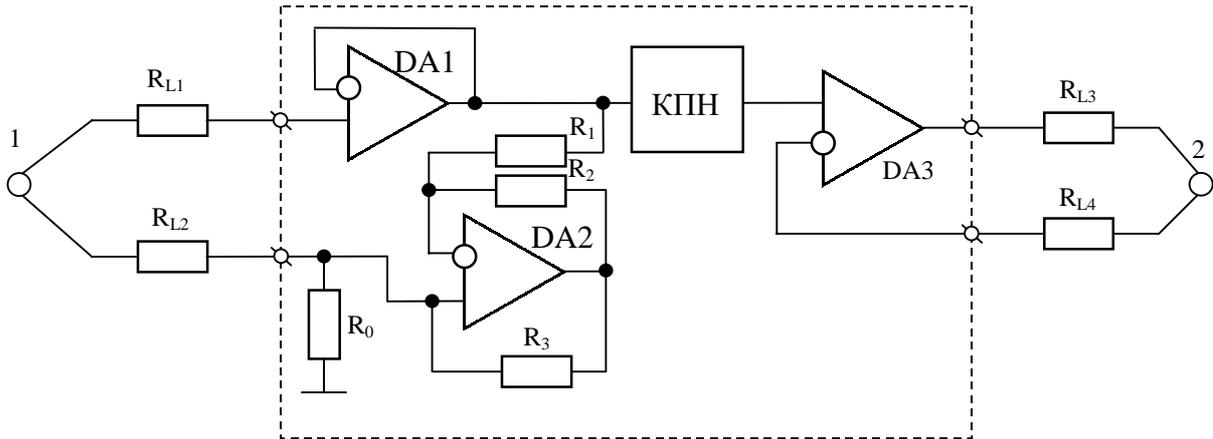


Рис.4. Структурна схема активного імітатора з компенсацією впливу опору лінії зв'язку за струмом

Напряга в точках 1 і 2 відповідно дорівнює

$$U_1 = I_{\text{вх}}(R_0 + R_{L2}) - I_k R_0, \quad (13)$$

$$U_2 = [I_{\text{вх}}(R_0 + R_{L2}) - I_k R_0 + \Delta U_1] \mu + \Delta U_3. \quad (14)$$

Тоді значення імітованого опору між точками 1 і 2 визначається з виразу

$$R_{\text{ім}} = \frac{1}{I_{\text{вх}}} [I_{\text{вх}}(R_0 + R_{L2}) - I_k R_0] (1 - \mu) - \frac{1}{I_{\text{вх}}} (\Delta U_1 \mu + \Delta U_3) = \left( R_0 + R_{L2} - \frac{I_k R_0}{I_{\text{вх}}} \right) (1 - \mu) - \frac{1}{I_{\text{вх}}} (\Delta U_1 \mu + \Delta U_3). \quad (15)$$

Для визначення компенсаційного струму знайдемо спад напруги на резисторі  $R_1$

$$U_{R1} = I_{\text{вх}} R_{L2} + \Delta U_1 - \Delta U_2. \quad (16)$$

На резисторі  $R_2$  напруга дорівнює

$$U_{R2} = \frac{I_{\text{вх}} R_{L2} + \Delta U_1 - \Delta U_2}{R_1} R_2. \quad (17)$$

Компенсаційний струм визначається з виразу

$$I_k = \frac{U_{R2} + \Delta U_2}{R_3} = \frac{I_{\text{вх}} R_{L2} + \Delta U_1 - \Delta U_2}{R_1 R_3} R_2 + \frac{\Delta U_2}{R_3}. \quad (18)$$

Після підстановки (18) в (15) отримаємо

$$R_{\text{ім}} = \left( R_0 + R_{L2} \left( 1 - \frac{R_2 R_0}{R_1 R_3} \right) - \frac{R_2 R_0}{I_{\text{вх}} R_1 R_3} \Delta U_1 + \frac{R_0}{I_{\text{вх}} R_3} \left( \frac{R_2}{R_1} - 1 \right) \Delta U_2 \right) (1 - \mu) - \frac{1}{I_{\text{вх}}} (\Delta U_1 \mu + \Delta U_3). \quad (19)$$

Як видно з виразу (19), вплив опору лінії зв'язку компенсується при виконанні

$$\frac{R_2 R_0}{R_1 R_3} = 1. \quad (20)$$

Для повної компенсації впливу з'єднувальних ліній і напруги зміщення  $\Delta U_2$  операційного підсилювача DA2 необхідно, щоб

$$R_2=R_1 \text{ і } R_0=R_3. \quad (21)$$

Тоді значення імітованого опору дорівнює

$$R_{\text{ім}} = R_0(1-\mu) - \frac{1}{I_{\text{вх}}}(\Delta U_1 + \Delta U_3). \quad (22)$$

Абсолютна похибка імітації опору від впливу напруги зміщення нульового рівня операційних підсилювачів дорівнює

$$\Delta R_{\text{ім}} = \frac{1}{I_{\text{вх}}}(\Delta U_1 + \Delta U_3). \quad (23)$$

Структурні схеми імітаторів опорів з компенсацією впливу опорів ліній зв'язку дають можливість імітації опору на віддалі і їх можна використати для побудови багатодіапазонних мір опору з компенсацією впливу опорів комутуючих елементів. Такі імітатори необхідні на об'єктах, на яких прилад не може бути розміщений безпосередньо в місці імітації з конструктивних міркувань або в зонах з агресивними факторами, наприклад, на атомній станції в зонах з підвищеною радіацією, яка впливає на роботоздатність електронних схем.

1. А.с. 836784 (СРСР). Преобразователь сопротивлений / С.А. Новоселова, М.З. Чаповский. // БИ, №21, 1981. 2. А.с. 1173542 (СРСР). Многоурядный управляемый магазин сопротивлений / Н.Н. Алешин, С.Б. Кутыркин, В.С. Шиндов, Г.П. Шлыков, В.М. Шляндин. // БИ, №30, 1985. 3. А.с.779914 Мера электропроводимости / В.Я. Яцук, Е.И. Шморгун. // БИ, №42, 1980 4. А.с. 924615 (СРСР). Магазин сопротивлений / А.М. Чернов. // БИ, №16, 1979. 5. А.с. 940275 (СРСР). Управляемая мера электрического сопротивления/ Г.В.Фабричнев. // БИ, №24, 1982. 6. А.с. 1406730 (СРСР). Имитатор управляемой меры электрического сопротивления / А.М. Чернов. // БИ, №24, 1988. 7. Бойко О., Столярчук П., Яцук В. Переносна багатозначна міра опору // Вимірювальна техніка та метрологія. – 1999. – №54. – С. 39-42. 8. Бойко О., Столярчук П., Яцук В. Імітатори опору, інваріантні до впливу опорів ліній зв'язку // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2000. – №57. С. 43-46. 9. Бойко О. Компенсація впливу опорів ліній зв'язку в кодированих мірах опору // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2001. – № 58. – С. 59-62.