

– якщо $T_1 \neq n \cdot T_3$ (період інтегрування не кратний періоду завади), найкраще засинхронізувати початок – інтегрування з моментом проходження через нуль напруги завади. У такому разі коефіцієнт подавлення зросте на 30 Дб;

– знак абсолютної похибки залежить від початку фази φ_0 і від співвідношення T_1 і T_3 .

Розглянемо ще один випадок, коли завада має випадковий характер, тобто початкова фаза у кожному із півперіодів інтегрування є випадковою.

Використовуючи формулу (3''), запишемо для кожного з півперіодів

$$U_{cp1} = U_x + b_1 \cdot \frac{\cos \varphi_1 - \cos(2\pi \cdot f_3 \cdot T_{i\Box} + \varphi_1)}{2\pi \cdot f_3 \cdot T_{i\Box}},$$

$$U_{cp2} = U_x + b_2 \cdot \frac{\cos \varphi_2 - \cos(2\pi \cdot f_3 \cdot T_{i\Box} + \varphi_2)}{2\pi \cdot f_3 \cdot T_{i\Box}}.$$

Якщо $b_1 = K \cdot b_2$, маємо

$$U_{cpI} = U_x + b \cdot \left(\frac{\cos \varphi_1 - \cos \varphi_2 - \left(\cos(2\pi \cdot f_3 \cdot T_{i\Box} + \varphi_1) \right)}{4\pi \cdot f_3 \cdot T_{i\Box}} - \frac{\cos(2\pi \cdot f_3 \cdot T_{i\Box} + \varphi_2)}{4\pi \cdot f_3 \cdot T_{i\Box}} \right),$$

де прийемо, що $K = 1$. Після перетворень U_{cpI} запишемо вираз для абсолютної похибки:

$$\Delta = b \cdot \left(\frac{\sin(\pi \cdot f_3 \cdot T_{i\Box})}{\pi \cdot f_3 \cdot T_{i\Box}} \cdot \sin \frac{\varphi_0}{2} \cdot \cos(\pi \cdot f_3 \cdot T_{i\Box}) + \frac{2\varphi_0 - \Delta\varphi_0}{2} \right), \quad (17)$$

де φ_0 – початкова фаза напруги завади в першому півперіоді; $\Delta\varphi_0$ – різниця фаз між початковими фазами в обох півперіодах.

Вираз (17) є функцією 4-х аргументів $\Delta = F(T_1, f_3, \varphi_0, \Delta\varphi_0)$, причому три з них ($f_3, \varphi_0, \Delta\varphi_0$) є випадковими величинами.

1. Дорожовец М.М., Обозовский С.С., Чайковский О.И. Характеристики погрешности от помех нормального вида при аналого-цифровом преобразовании четырехтактным интегрированием // Метрология. 1978. № 10,12.
2. Прянишников В.А. Интегрирующие цифровые вольтметры постоянного тока. Л., 1976.
3. Гришанов А.А., Кондакова Е.И., Редькин Б.Е. Интегрирующие цифровые вольтметры. М., 1981.
4. Гернинг Д., Дорожовец М.М., Обозовский С.С. и др. Помехозащищенность и помехоустойчивость преобразования электрических измерительных сигналов // Измерения. Контроль. Автоматизация. 1982. № 4 (48).
5. Грибок М., Романюк С. Цифровой вольтметр с алгоритмно-параметрической коррекцией похибок. // Вимірювальна техніка та метрологія. 2000. № 56. С.29-34.

УДК 621.317.727

ІМІТАТОРИ ОПОРУ, ІНВАРІАНТНІ ДО ВПЛИВУ ОПОРІВ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ

© Оксана Бойко, Петро Столярчук, Василь Яцук, 2000

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра “Метрологія, стандартизація та сертифікація”, вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

Запропоновано структурну схему кодо-керованої міри опору з компенсацією впливу опорів ліній зв'язку на похибку відтворення опору. Розглянуто можливість компенсації впливу опорів комутаційних елементів.

Предложена структурная схема кодо-управляемой меры сопротивления с компенсацией влияния сопротивлений соединительных проводов. Рассматривается возможность компенсации влияния сопротивлений коммутирующих элементов.

The circuits of code-control resistance measures with compensation influence of wire resistance are proposed. Compensation influence of residual switches parameters is considered too.

Основою забезпечення високої метрологічної надійності засобів вимірювання є оперативна оцінка їх метрологічних характеристик в умовах експлуатації. Традиційний спосіб перевірки полягає у демонтажі

приладів із технологічних об'єктів, транспортуванні їх до спеціальних приміщень, в яких створені нормальні умови для їх проведення. Крім суто організаційно-технічних незручностей і фінансових затрат, перевірка

засобів вимірювань в таких умовах не дає змоги коректно встановити їх метрологічні властивості, виявити і врахувати усі фактори похибок, які можуть виникати на місці експлуатації. Умова здійснення бездемонтажного контролю ставить підвищені вимоги до зразкових засобів вимірювання, зокрема до мір опору.

Можливості поліпшення метрологічних характеристик мір опору, побудованих на основі класичного магазину, обмежені [1]. Тому перевагу слід віддати багатозначним імітаторам опору, які відтворюють між своїми виводами закон Ома для ділянки кола. Незважаючи на велику кількість праць, які стосуються імітаторів опору, можливість компенсації впливу опорів ліній зв'язку розглядається лише в [2], чотирипровідна схема, яка зменшує вплив опорів з'єднувальних провідників, і запропонована п'ятипровідна схема імітатора опору для повної компенсації їх впливу. Однак в останній схемі зразковий опір винесено до місця під'єднання, що створює ряд незручностей.

Вказані недоліки усунені в кодо-керованій мірі опору (КМО), структурна схема якої наведена на рис. 1.

У запропонованій КМО застосована схема ком-

пенсації впливу опору лінії зв'язку, під'єднаної послідовно зі зразковим резистором, яка побудована на операційних підсилювачах DA2, DA3, DA4. Суть компенсації полягає у виділенні спаду напруги на лінії зв'язку з наступним відніманням її значення від вихідної напруги операційного підсилювача DA1.

Значення вихідної напруги операційного підсилювача DA1 з урахуванням опору лінії R_{L1} і напруги зміщення нульового рівня ΔU_1 операційного підсилювача DA1 знаходять за формулою

$$U_{DA1} = I_{вх} R_{L1} + I_{вх} R_0 + \Delta U_1 \quad (1)$$

де $I_{вх}$ – значення вхідного струму; R_0 – значення опору зразкового резистора.

На вхід операційного підсилювача DA2 надходить напруга, значення якої дорівнює $\Delta U_1 + R_{L1} I_{вх}$.

Вихідна напруга операційного підсилювача DA3 з урахуванням напруг зміщення нульового рівня операційних підсилювачів DA2 і DA3 дорівнює

$$U_{DA3} = -(I_{вх} R_{L1} + \Delta U_1 + \Delta U_2) k_1 k_2 + \Delta U_3 (1 - k_2) \quad (2)$$

де $k_1 = (1 + R_{22}/R_{21})$, $k_2 = R_{32}/R_{31}$ – коефіцієнти передачі відповідно DA2 і DA3, ΔU_2 , ΔU_3 – значення напруг зміщення нульового рівня операційних підсилювачів DA2 і DA3.

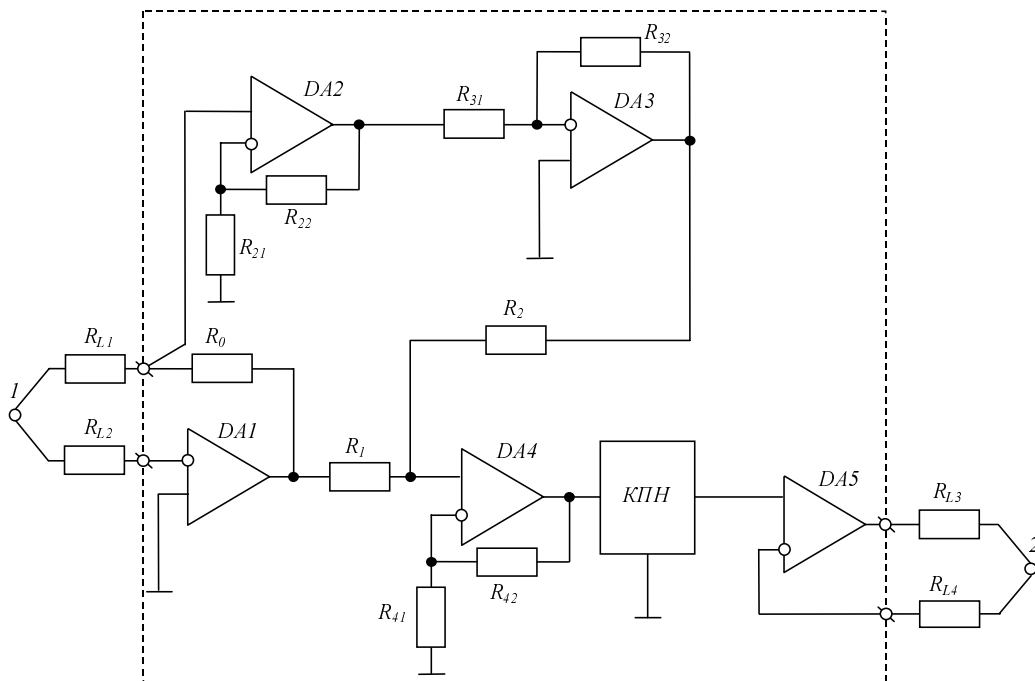


Рис. 1. Структурна схема КМО з компенсацією опорів ліній зв'язку

Вихідні напруги операційних підсилювачів DA1 і DA3 підсумовуються на резисторах R_1 і R_2 і на виході операційного підсилювача DA4 отримуємо

$$U_{DA4} = - \left[\frac{I_{вх} R_0 R_2}{R_1 + R_2} + \frac{(I R_{L1} + \Delta U_1)(R_2 - k_1 k_2 R_1)}{R_1 + R_2} - \Delta U_2 \frac{k_1 k_2 R_1}{R_1 + R_2} + \Delta U_3 \frac{(1 - k_2) R_1}{R_1 + R_2} + \Delta U_4 \left(1 + \frac{R_{41}}{R_{42}} \right) \right] \quad (3)$$

де ΔU_4 – значення напруги зміщення нульового рівня операційного підсилювача DA4.

Як видно з формули (3), для повної компенсації впливу лінії зв'язку необхідно, щоб

$$R_2 = k_1 k_2 R_1 \quad \text{і} \quad 1 + R_1/R_2 = 1 + R_{41}/R_{42}.$$

При цьому на вхід КПН надходить напруга

$$U_{DA4} = I_{вх} R_0 - \Delta U_2 + \Delta U_3 \frac{1 + k_2}{k_1 k_2} + \Delta U_4 \left(1 + \frac{R_{41}}{R_{42}} \right) \quad (4)$$

В результаті значення імітованого опору дорівнює

$$R_{им} = \frac{R_0}{k} - \left(\frac{\Delta U_2}{k} - \Delta U_3 \frac{1 + k_2}{k_1 k_2 k} - \Delta U_4 \frac{R_{41} + R_{42}}{R_{42} k} \right) - \Delta U_5 \frac{1}{I_{вх}} \quad (5)$$

де k – коефіцієнт ділення подільника напруги; ΔU_5 – значення напруги зміщення нульового рівня операційного підсилювача DA5.

З формули (5) видно, що запропонована схема активного імітатора забезпечує повну компенсацію впливу опору лінії зв'язку R_{L1} і напруги зміщення операційного підсилювача DA1. Напруги зміщення операційних підсилювачів DA2, DA3, DA4 (3) компенсуються частково. Опори ліній зв'язку R_{L2} і R_{L4} не впливають на значення імітованого опору, оскільки вони увімкнені послідовно з високоомними входами операційних підсилювачів DA1 і DA2. Опір з'єднувального провідника R_{L3} увімкнений у зворотний зв'язок підсилювача DA5 і його вплив зменшується в k_{05} разів, де k_{05} – коефіцієнт підсилення операційного підсилювача DA5.

Ця схема компенсації впливу опору лінії зв'язку може бути також використана для компенсації впливу опорів ключів, які перемикають діапазони імітації опору. Один з варіантів таких імітаторів наведено на рис.2.

Вибір діапазону імітації опору здійснюється вибором зразкового резистора і відповідним перемиканням входу операційного підсилювача DA2. Опори ключів $r_{11}, r_{12}, \dots, r_{1n}$ з'єднані послідовно з опором лінії зв'язку R_{L1} і тому вони компенсуються разом з опором лінії. Опори ключів $r_{21}, r_{22}, \dots, r_{2n}$ не впливають на значення імітованого опору, тому що вони увімкнені послідовно з великим вхідним опором операційного підсилювача DA2.

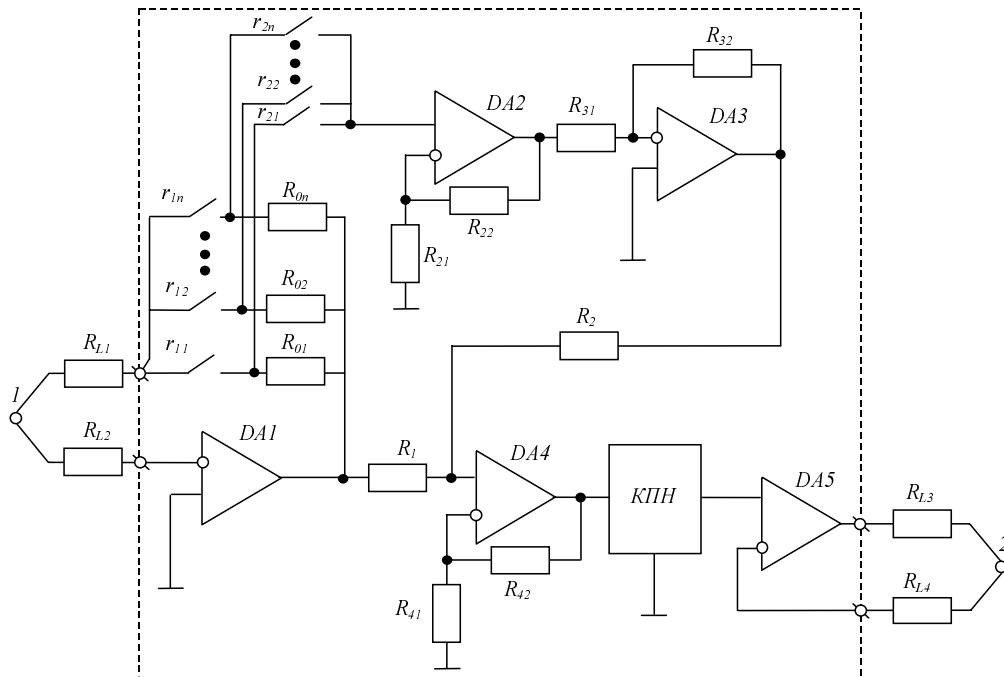


Рис. 2. Структурна схема КМО з компенсацією впливу залишкових опорів ключів

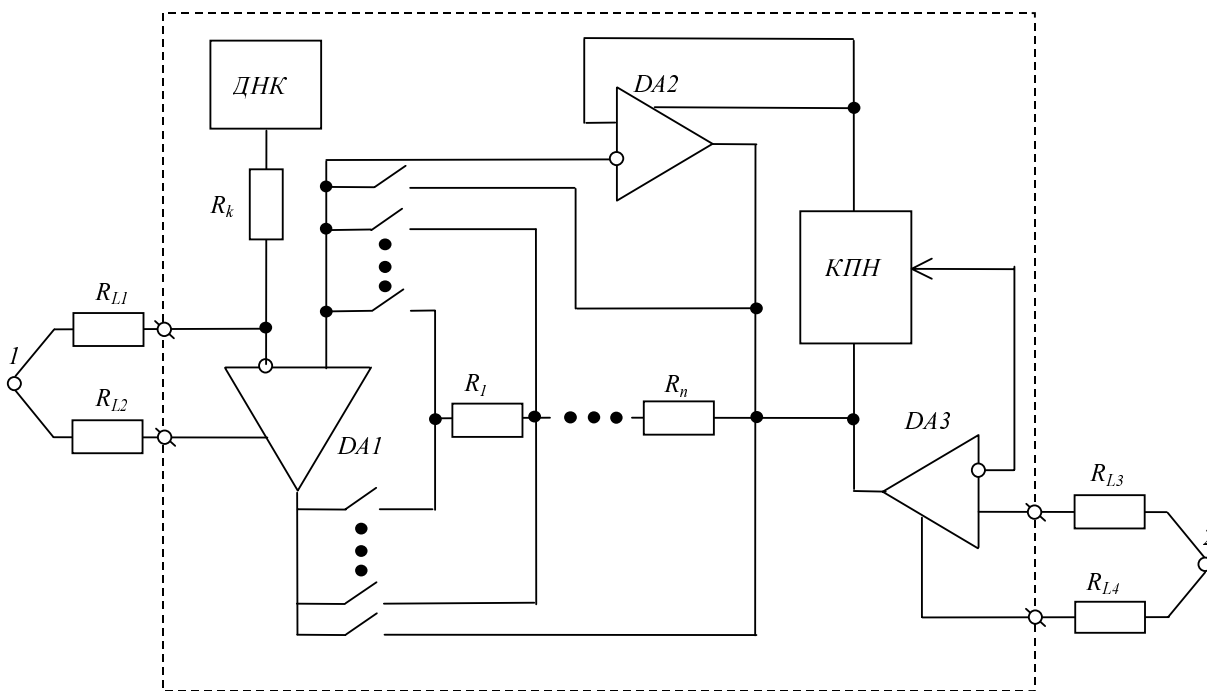


Рис. 3. Структурна схема КМО з гальванічно розділеними операційними підсилювачами

Для спрощення структури можна використати гальванічно розділені операційні підсилювачі [3]. У цьому випадку відсутня складова похибки спричинена обмеженістю коефіцієнта послаблення синфазної складової. Структурна схема такої КМО наведена на рис.3. У схемі є можливість автоматичного перемикання діапазонів відтворення опору. Завдяки потенціально-струмовій комутації масштабного резистора відсутня похибка, зумовлена залишковими параметрами ключів. Імітований між клемми 1 та 2 опір дорівнює

$$R_{im} = \frac{\Delta U_1 + \Delta U_3}{I_{вх}} + \frac{1}{k} \left(R_N + \frac{\Delta U_2}{I_{вх}} \right) \quad (6)$$

де R_N – опір масштабного резистора.

Як видно з виразу (6), напруги зміщення операційних підсилювачів призводять до появи похибки $\frac{\Delta U_1 + \Delta U_3}{I_{вх}} + \frac{1}{k} \frac{\Delta U_2}{I_{вх}}$. Її значення може бути скориговане без відмикання міри від об'єкта через встановлення нульових показів вольтметра, під'єданого до

міри, регулюванням значення вхідної напруги джерела напруги компенсації (ДНК).

Отже, розглянуті способи забезпечення інваріантності міри опору до впливу опорів ліній зв'язку, перемикачів діапазонів відтворення та еквівалентних напруг зміщення операційних підсилювачів. Описані структури дають можливість імітації опору на віддалі, що значно розширює область їх застосування. 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 працездатність електронних схем.

1. Яцук В.О. Принципи побудови кодо-керованих мір опору // Вимірвальна техніка та метрологія, 1998. №53. 2. Бойко О.В., Столярчук П.Г. Яцук, В.О. Переносна багатозначна міра опору // Вимірвальна техніка та метрологія, 1999. №54. 3. А.с. 924615 (СССР) Магазин сопротивлений / А.М.Чернов // Бюл. изобрет. 1979. №16.