

УДК 621.317.727

ПОКРАЩАННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕРІЙНИХ ПЕРЕНЕСНИХ КАЛІБРАТОРІВ ОПОРУ, НАПРУГИ, СТРУМУ

© Оксана Бойко, Петро Столярчук, Василь Яцук, Василь Матвіїв, 2000

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

Проаналізовано метрологічні характеристики переносних калібраторів опору, напруги, струму. Запропонована схема багатофункціонального калібратора з автоматичним коригуванням адитивної складової похибки.

Проанализированы характеристики переносных калибраторов сопротивления, напряжения, тока. Предложена схема многофункционального калибратора с автоматической коррекцией аддитивной погрешности.

Metrological characteristics of resistance-voltage-current calibrator is analyzed in this paper. The new circuit of multifunction calibrator with automatic additive errors correction is proposed.

Від якості функціонування систем керування технологічними процесами в остаточному результаті залежить якість виготовлюваної продукції, для чого необхідно періодично перевіряти правильність функціонування систем керування в робочих умовах експлуатації. Крім того, системи керування потрібно налагоджувати при вводі в експлуатацію та після ремонтів, а також переналагоджувати при зміні їх структури та складу, викликаних в сучасних умовах необхідністю оперативного реагування на швидкі зміни кон'юнктури ринку. Як показує аналіз, можливість використання в робочих умовах експлуатації та найменшу трудомісткість перевірки засобів вимірювання забезпечує метод зразкових мір, який на практиці реалізується на базі переносних багатозначних мір [1]. Для метрологічного забезпечення приладів постійного струму потрібні калібратори опору, напруги та струму. Вітчизняною промисловістю (СКБ мікроелектроніки в приладобудуванні та ВАТ "Мікроприлад", м. Львів) серійно випускаються переносні калібратори типу МК4702 класу точності 0,02-0,05. Найбільшою вадою цього калібратора є його велика ціна та експлуатаційні витрати, що в сучасній економічній ситуації суттєво зростає його ринковий сектор. Крім того, через недостатньо високий клас точності та дискретність відтворення, цим калібратором не можна перевірити ряд типів перетворювачів з уніфікованим вихідним сигналом та циф-

рових вимірювачів температури. Тому в даний час актуальним є питання модернізації цього калібратора.

Калібратор типу МК4702 побудований на основі резистивного дискретного цифро-аналогового перетворювача (ЦАП), який являє собою декаду подільника напруги із розрядним підсумовуванням чотирьох напруг цього ж подільника. Ця структура вимагає на кожний розряд десять ключів, що значною мірою обмежує підвищення точності. Багатозначна міра опору реалізується на базі структури активного імітатора електричного опору, який складається з комутованого масштабного прецизійного резистора та неінвертуючого повторювача вихідної напруги ЦАП. Калібратор напруги побудований на базі імітатора опору, при цьому через його масштабний резистор пропускається струм від вмонтованого джерела опорної напруги (ДОН), отриманий спадок напруги квантується ЦАП та масштабується вихідним підсилювачем для відтворення напруг в декількох діапазонах. Калібратор струму виконаний за класичною схемою, в якій вихідний масштабний блок реалізований як перетворювач напруги на струм. Калібратор МК4702 має вмонтовану індикацію та цифровий набирач мантиси відтворюваних фізичних величин, реалізований на мікросхемах середнього ступеня інтеграції. Для коригування адитивної складової похибки передбачений спеціальний режим встановлення

нуля, який проводиться при двох різних конфігураціях схеми калібратора. Момент корекції визначається за відсутністю свічення, або свічення однакової яскравості двох світловипромінюючих діодів, увімкнених між протиполярними шинами живлення та виходом підсилювача сигналу коригування. Крім впливу електромагнітних завад та похибки за рахунок суб'єктивних особливостей сприйняття свічення оператором, такому методу встановлення нуля притаманна ще й похибка за рахунок великого (в декілька разів) розкиду яскравості свічення світлодіодів.

Очевидно, що одним із центральних вузлів універсального калібратора для перевірки приладів постійного струму є імітатор електричного опору. Оскільки при виконанні пусконаладжувальних робіт на складних технічних об'єктах не завжди є можливість під'єднання міри до засобів вимірювань, які змонтовані у спеціальних стінах або шафах короткими каліброваними з'єднувальними провідниками, то переносний калібратор опору повинен підмикатись до перевірюваних об'єктів чотирипровідною лінією зв'язку. Метрологічні властивості багатозначних калібраторів насамперед визначаються похибками ЦАП. Сучасна промисловість серійно випускає багаторозрядні ЦАП з диференціальною нелінійністю декілька тисячних відсотка, на базі яких можна реалізувати калібратори класу точності 0,05 та вище. Однак їх застосування ускладнює реалізацію калібратора через необхідність використання порівняно потужних різнополярних джерел живлення декількох значень, крім того, прецизійні ЦАП порівняно дорогі. Альтернативним шляхом побудови прецизійних ЦАП є використання подільників із широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ), які, крім забезпечення потрібної точності, суттєво спрощують реалізацію кодокерованого подільника напруги (КПН). Більшість активних імітаторів опору [2-4] не допускають чотирипровідного під'єднання, за винятком [5], але ця структура не дозволяє з невеликою надлишковістю реалізації калібратора напруги та струму.

Багатофункціональні калібратори з малою структурною надлишковістю можуть бути реалізовані на базі імітаторів опору з гальванічно розділеними операційними підсилювачами (ОП) [6], або ж, простіше, на ОП без гальванічного розділення, з

невеликою кількістю елементів для реконфігурації функціональних зв'язків [7]. Однак в цих структурах багатофункціональних калібраторів, крім зазначених вище недоліків, не вирішене повністю питання автоматизації перемикання діапазонів відтворення, а також коригування адитивної складової похибки при відтворенні різних фізичних величин. На базі сучасних ОП з коефіцієнтами послаблення синфазної складової понад 100 дБ можна використовувати неінвертуюче увімкнення ОП в калібраторах з межею допустимої похибки відтворення в декілька тисячних відсотки. Вищевикладені вимоги враховані в структурі багатофункціонального калібратора, схема якого наведена на рисунку.

На сьогодні блок керування (БК) калібратором доцільно реалізувати на базі однокристальних мікро-ЕОМ, які мають широкі функціональні можливості. Наприклад, вони можуть містити 10-12-розрядні вмонтовані АЦП та ЦАП, що при порівняно невеликій вартості мікро-ЕОМ забезпечить малу собівартість усього калібратора. Основою калібратора є чотириризатискачевий імітатор електричного опору побудований на повторювачах напруги DA1, DA3, перетворювачі струм-напруга DA2, масштабних резисторах R_{MR} , перемикачі діапазонів S_{IR} і КПН. Калібратор напруги побудований на тих же структурних елементах методом під'єднання до входу повторювача DA1 опорної напруги E_0 через перемикач S_{1U} і реалізації на ОП DA2 інвертуючого масштабного перетворювача, який з'єднується з виходом повторювача DA1 ключем S_{2U} . За рахунок перемикачів резисторів R_{1MU} , R_{2MU} потенціальним ключем S_{3U} перемикаються діапазони відтворюваних напруг, а вхідна напруга калібратора знімається з клем U_{1k} , U_{2k} . Для реалізації калібратора струму на базі калібратора напруги, на ОП DA3 за допомогою ключа S_1 струмозадавальних резисторів R_{MI} будується перетворювач напруга-струм. Використання потенціально-струмової комутації масштабних резисторів забезпечує інваріантність всіх відтворюваних калібратором величин до залишкових параметрів ключів. Коригування адитивної складової похибки імітатора опору відбувається при його відімкненні від перевірюваного засобу вимірювань і закороченні між собою пар потенціальних та струмових провідів П1, С1 і П2,

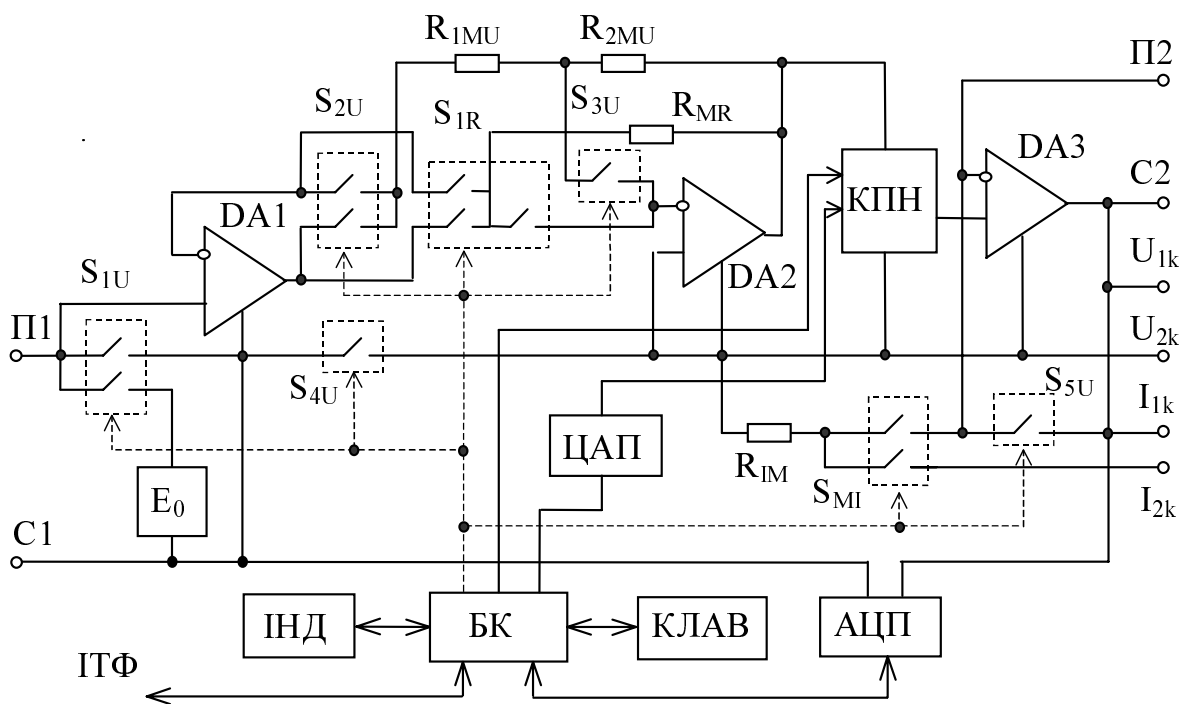
С2, калібраторів напруги та струму – за умови відімкнення за допомогою ключа S_{1U} джерела E_0 від входу повторювача DA1 та під'єднання спільної шини E_0 і DA1 до спільної шини DA2 і DA3. Коригування адитивної складової похибки проводиться практично без зміни конфігурації схеми для кожного значення коду μ . Дійсно, між клемми П1, С1 та П2, С2 імітатора опору спадок напруги U_R , вихідна напруга калібратора напруги U_k (на клеммах U_{1k} та U_{2k}) та вихідна напруга U_1 перетворювача напруга-струм DA3 визначатимуться як

$$U_R = \mu(\Delta_1 + \Delta_2 + I_1 R_{MR}) + \Delta_3 - U_{ЦАП}; \quad (1)$$

$$U_k = [(E_0 + \Delta_1)k_U + \Delta_2] \mu + \Delta_3 - U_{ЦАП}; \quad (2)$$

$$U_1 = \left\{ [(E_0 + \Delta_1)k_U + \Delta_2] \mu + \Delta_3 - U_{ЦАП} \right\} \left(1 + \frac{R_n}{R_{MI}} \right), \quad (3)$$

де Δ_1 , Δ_2 , Δ_3 – адитивні складові похибки, відповідно, ОП DA1, DA2, DA3; I_1 – струм, який протікає через імітатор опору; $U_{ЦАП}$ – вихідна напруга ЦАП; E_0 – напруга джерела опорної напруги; $k_U = R_{2MU}/R_{1MU}$ – коефіцієнт передачі підсилювача DA2; R_n – опір навантаження на виході калібратора струму.



Структура багатфункціонального багатдіапазонного переносного калібратора

З рівнянь (1)-(3) можна зробити висновок, що при від'єднаних від омметра та закорочених парах затискачів П1, С1 та П2, С2 в імітаторі опору, від'єданому від входу повторювача джерелі опорної напруги E_0 , та при закорочених клеммах I_{1k} , I_{2k} калібратора струму значення еквівалентної адитивної складової похибки калібратора при відтворенні фізичних величин дорівнюватиме

$$\Delta_{R_{екв}} = \mu\Delta_1 + \Delta_3 - U_{ЦАП} + \mu\Delta_2; \quad (4)$$

$$\Delta_{U_{екв}} = \mu\Delta_1 k_U + \Delta_3 - U_{ЦАП} + \mu\Delta_2; \quad (5)$$

$$\Delta_{I_{екв}} = \left\{ \mu\Delta_1 k_U + \Delta_3 - U_{ЦАП} + \mu\Delta_2 \right\} \left(1 + \frac{R_n}{R_{MI}} \right). \quad (6)$$

Як видно з рівнянь (4)-(6), вихідною напругою ЦАП коригується значення адитивної складової похибки калібратора. АЦП в даній структурі може бути невеликої розрядності, результати якого усереднюються в мікро-ЕОМ. Запропоновані наукові засади покращання метрологічних характеристик переносних калібраторів опору, напруги та струму використані при модернізації серійних мір МК4702,

яка проводиться в СКБ мікроелектроніки в приладобудуванні.

1. Любимов Л.И., Форсилова И.Д., Шапиро Е.З. Поверка средств электрических измерений: Спр. Л. 1987. 296 с. 2. А.с. 924615 (СССР). Магазин сопротивлений // Бюл. изобрет., 1979. №16. 3. А.с. 940275 (СССР). Управляемая мера электрического сопротивления // Бюл. изобрет., 1982. №24, 1982. 4. А.с. 1406730 (СССР).

Имитатор управляемой меры электрического сопротивления // Бюл. изобрет., 1988. №24. 5. Бойко О.В., Столярчук П.Г., Яцук В.О. Переносна багатозначна міра опору / Вимірювальна техніка та метрологія. 1999. № 54. С. 39-42. 6. А.с. 1427306 (СССР). Магазин сопротивлений // Бюл. изобрет. 1988. №36. 7. Микийчук М.М. Засоби повірки вторинних пристроїв контактної термометрії на основі активних імітаторів опору / Автореферат дис.к.т.н. Львів, 1998. 18 с.

УДК 534-8

ЗАСТОСУВАННЯ УЛЬТРАЗВУКУ ПІКОСЕКУНДНОГО ДІАПАЗОНУ ДЛЯ ВИМІРЮВАНЬ ПАРАМЕТРІВ ШАРІВ У БАГАТОШАРОВИХ СТРУКТУРАХ

© Любомир Паніс*, Адам Ковальчик*, Богдан Стадник, 2000

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

*Ряшівська політехніка, кафедра "Метрологія та вимірювальні системи", Ряшів, Польща

Розглянуто принципи неруйнівного контролю параметрів багатошарових кремнієвих, напівпровідникових та змішаних структур. Подано схематичні діаграми та результати комп'ютерного моделювання вимірювань за допомогою ультразвуку пікосекундного діапазону. Наведено короткий огляд напрямків практичних досліджень ультразвуку пікосекундного діапазону.

Рассмотрены принципы неразрушающего контроля параметров многослойных кремниевых, полупроводниковых и смешанных структур. Поданы схематические диаграммы и результаты компьютерного моделирования измерений с помощью ультразвука пикосекундного диапазона. Приведен краткий обзор направленный практических исследований ультразвука пикосекундного диапазона.

Considered principles of nondestructive parameters control of multilayer silicic, semiconducnor and mixed structures. Helped into schematic graphs and results of computer modeling measuring by means picosecond ultrasound. Brought over short areas examination of practical researches picosecond ultrasound.

Протягом останніх трьох десятиліть людство розвинуло чудове вміння виробляти мініатюрні об'єкти. Найяскравішим прикладом є комп'ютерна мікросхема, що виготовляється з кремнієвої пластини, у яку спеціально вводяться домішки, що утворюють напівпровідникові елементи. Поверхня кожної мікросхеми покрита послідовно металевими плівками та ізоляційними шарами, котрі забезпечують електричний зв'язок між сусідніми транзисторами. Ці плівки можуть бути завтовшки до мільйонної частки сантиметра. Товщина і однорідність цих плівок визначають ефективність роботи мікросхеми і, врешті-решт, комп'ютера, в якому вона встановлена.

Плівка може мати довільну товщину від $5 \cdot 10^{-9}$ м до $5 \cdot 10^{-6}$ м. Для найтонших плівок товщина повинна контролюватись з точністю до 10^{-10} м [1, 2, 3]. Вимірювання товщини є надзвичайно складним завданням. Найефективніший метод, який сьогодні існує, це деструктивний: необхідно взяти мікросхему, розрізати її і поглянути на неї збоку. Більшість виробників стикаються з проблемою забезпечення постійної товщини, щохвилини контролюючи кожен аспект процесу виробництва – такий, як температура, вологість і тиск – та перевіряючи розміри кількох мікросхем, які приносяться у жертву.

У 1985 році, під час проведення оптичних експериментів з напівпровідниками у Браунівсь-