

- Стандартов, 1978. 23. МИ 1202-86. ГСИ. Приборы и преобразователи измерительные напряжения, тока, сопротивления цифровые. Общие требования к методике поверки. Изд-во стандартов. –М., 1986. 24. ГОСТ 14014-91 Приборы и преобразователи измерительные цифровые напряжения, тока, сопротивления. Общие технические требования и методы испытаний. Изд-во стандартов. –М., 1991. 25. Кочан Р.В., Кочан О.В. Пристрій визначення інтегральної нелінійності характеристики перетворення аналого-цифрових перетворювачів. Пат. 200703921 Україна, МПК G01D 3/02. Заявл. 10.04.2007. 26. Кочан Р.В., Кочан О.В. Спосіб перевірки аналого-цифрових перетворювачів на місці експлуатації. Пат. 200805621 Україна, МПК G01D 3/02. Заявл. 29.04.2008. 27. Кочан Р.В. Лінеаризація характеристики перетворення аналого-цифрових перетворювачів з високою роздільною здатністю // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2009. – № 2. – С. 7–12. 28. R. Kochan, O. Kochan. Method of ADC's Nonlinearity Identification. Proc. of the IEEE International Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advancing Computing Systems (IDAACS'2007), Dortmund, Germany, September 6 – 8, 2007, pp. 14 – 17. 29. Кочан Р.В. Метод корекції інтегральної нелінійності характеристики перетворення прецизійних аналого-цифрових перетворювачів / Вимірювальна техніка та метрологія. – Львів, 2009. – № 70. – С. 18–26. 30. "IEEE Std 1451.2-1997, Standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators – Transducer to Microprocessor Communication Protocols and Transducer Electronic Data Sheet (TEDS) Formats" Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., Piscataway, New Jersey 08855, September 26, 1997. 31. А.С. СССР № 1402980. Устройство для автоматической коррекции погрешностей измерительного преобразователя. Изаков Е.Т., Кочан В.В., Саченко А.А., Чирка М.И., Ноткин Ю.А. БИ,22, 1988, с.159. 32. A.Sachenko, V.Kochan, V.Turchenko, V.Golovko, T.Laopoulos. Using Neural Networks for Decreasing ADC Error. Proceedings of 4th IMEKO International Workshop on ADC Modeling and Testing, Bordeaux, France, September 9-10, 1999, pp. 78-81.

УДК 621.317

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУР АКТИВНИХ ІМІТАТОРІВ ОПОРУ ЯК ОСНОВИ ПРОМИСЛОВИХ КАЛІБРАТОРІВ

© Микола Микійчук, 2010

Національний університет "Львівська політехніка", кафедра метрології, стандартизації та сертифікації,
вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

Розглянуто способи побудови засобів оперативного контролю метрологічних характеристик промислових засобів вимірювання на основі активних імітаторів опору

Рассмотрены пути построения средств оперативного контроля метрологических характеристик промышленных средств измерений на основе активных имитаторов сопротивления

The ways of constructing the effective control devices of industrial measuring means metrological characteristics based on active imitator resistance

Актуальність. Одним з основних факторів, що визначає ефективність промислових засобів вимірювань (ЗВ), є наявність продуктивного метрологічного забезпечення [1–3]. Однак, поряд з удосконаленням промислових ЗВ, останніми роками помітнішою стала неефективність наявних засобів їх метрологічного забезпечення [4–6]. Ця неефективність зумовлена

специфікою метрологічних досліджень промислових ЗВ, яка полягає в тому, що:

по-перше, діапазони відтворення електричних сигналів наявних калібраторів не адаптовані до діапазонів вимірювання ЗВ, що зумовлює використання калібраторів зі значною метрологічною надлишковістю;

по-друге, під час метрологічної перевірки необхідно визначати додаткові метрологічні параметри, не властиві іншим ЗВ (похибки аналогових та сигналізуювальних виходів, похибка схеми компенсації температури вільних кінців термопар, вимірювання опорів ліній зв'язку з первинним перетворювачем), що вимагає використання кількох еталонних ЗВ;

по-третє, оскільки промислові ЗВ використовуються переважно у технологічних лініях виробництва і їх демонтаж пов'язаний зі значними матеріальними затратами, то важливим є забезпечення можливості контролю їх метрологічних параметрів в умовах експлуатації.

Тому створення спеціалізованих калібраторів для метрологічної перевірки промислових ЗВ в умовах їх експлуатації є актуальним науково-технічним завданням.

Аналіз структур засобів оперативного контролю метрологічних характеристик засобів вимірювань. Аналіз показує [1, 3, 6], що основною проблемою на шляху автоматизації перевірки промислових ЗВ є відсутність кодокерованих багатозначних мір електричних величин (напруга, струм, опір), з комплексом метрологічних характеристик та функціональних можливостей, які задовольняли б вимоги контролю метрологічних характеристик основної маси промислових ЗВ. Причому основна проблема полягає у відсутності кодокерованих мір опору з малою дискретністю зміни опору (0,001 Ом). Такий стан зумовлений тим, що концепція створення багатозначних мір опору ґрунтувалася на традиційному способі відтворення опору електричному струму – комутації зразкових резисторів. При цьому виникали труднощі забезпечення необхідних метрологічних характеристик при відтворенні опорів, менших за 1 Ом.

Єдиним способом усунення вказаного недоліку сьогодні є створення кодокерованих мір опору на базі активних імітаторів опору. (АІО), які найпростіше реалізуються на сучасній мікроелектронній елементній базі із забезпеченням необхідних метрологічних характеристик [6].

Активний імітатор опору – це схема, що реалізує задане фіксоване співвідношення між напругою та струмом на її виході.

Активну імітацію опору можна здійснити двома способами, а саме:

- формуючи спад напруги на імітаторі пропорційно до струму, який протікає через нього (назвемо такий імітатор – АІО-У);

- формуючи струм, що протікає через імітатор, пропорційно до спаку напруги на ньому (назвемо такий імітатор – АІО-І).

Структурно АІО можна подати у вигляді з'єднання чотирьох вузлів, а саме вхідного перетворювача – ВП, масштабувального перетворювача – МП та буферних елементів (Б1, Б2) (див. рис. 1).

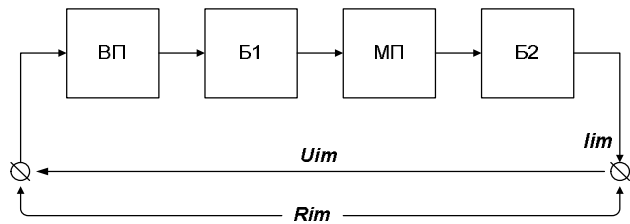


Рис. 1. Узагальнена структурна схема АІО

Розглянемо функціональне призначення кожного структурного вузла АІО. ВП сприймає енергетичну дію від вимірювального кола і приводить її до вигляду, зручного для подальшого перетворення. МП формує необхідне співвідношення між струмом, що протікає через імітатор, і спадом напруги на ньому. Б1 погоджує вихідний опір ВП з вхідним опором МП, а Б2 передає сигнал з МП на вихід імітатора. Характер з'єднань структурних вузлів між собою та їх будова визначають в остаточному результаті потенційні можливості АІО, тому доцільно розглянути можливі способи побудови АІО.

У загальному випадку значення відтворюваного опору АІО, з урахуванням коефіцієнтів перетворення його структурних вузлів, можна подати як

$$R_{im} = k_{B1} \cdot \mu(N) \cdot k_{B2} \cdot R_n, \quad (1)$$

де k_{B1}, k_{B2} – коефіцієнти перетворення буферних елементів Б1, Б2; R_n – значення зразкового резистора.

Значення коефіцієнтів перетворення k_{B1}, k_{B2} залежать від конкретної схемної реалізації АІО. Аналіз варіантів реалізації АІО показав, що можна виділити три види імітаторів, котрі реалізують залежності відтворюваного опору від коду, а саме:

$$R_{im1} = (1 + \mu(N)) \cdot R_n, \quad (2)$$

$$R_{im2} = (1 - \mu(N)) \cdot R_n, \quad (3)$$

$$R_{im3} = \mu(N) \cdot R_n. \quad (4)$$

Отже, у разі зміни $\mu(N)$ від 0 до 1 опір, що відтворюється АІО з функцією перетворення (2) змінюватиметься від R_n до $2R_n$ для структур з

функцією перетворення (3) від R_n до 0 Ом, а для структур з функцією перетворення (4) від 0 Ом до R_n .

Аналіз схем АІО показав, що сьогодні найпридатнішими для практичної реалізації є структури з масштабуванням компенсуючої напруги, тобто АІО-У. З відомих структур з масштабуванням напруги найбільшої уваги заслуговують схеми АІО-У, подані на рис. 4.

Особливістю цих схем АІО є наявність двох операційних підсилювачів, увімкнених у режим повторювача напруги, керованого подільника напруги та однозначної міри опорів.

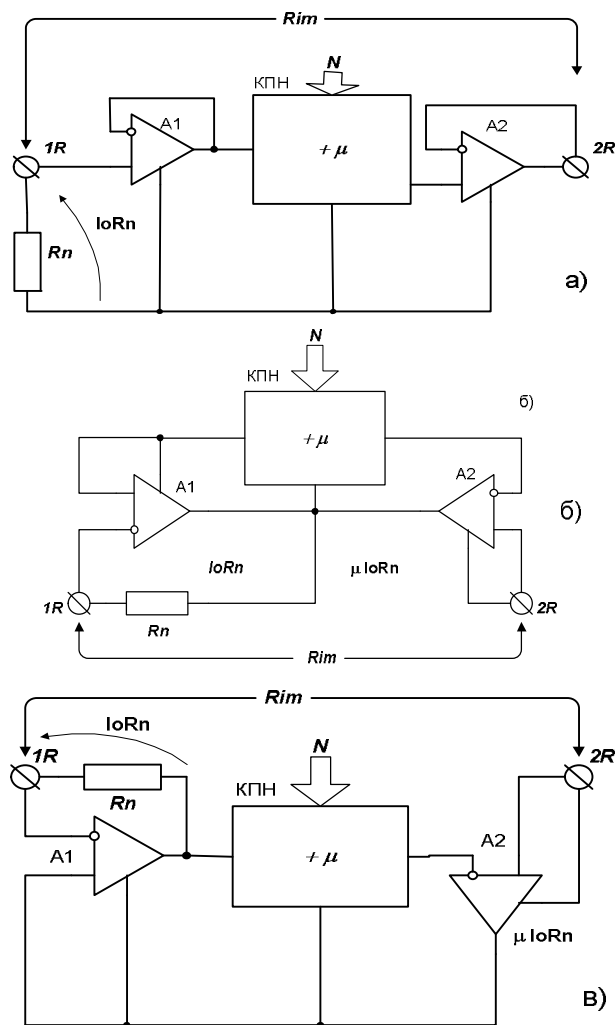


Рис. 4. Схеми АІО з масштабуванням компенсуючої напруги

Менш дослідженими є структури АІО з масштабуванням компенсуючого струму. Найхарактерніші варіанти схем АІО-І, які можна використати для практичної реалізації, подані на рис 5. Особливістю

цих АІО є той факт, що відтворення опорів відбувається за рахунок віднімання струмів з вимірювача та внутрішнього джерела струму на зразковому резисторі R_n . Для забезпечення лінійності шкали таких АІО необхідно у структуру вводити додатковий зразковий резистор, призначений для перетворення струму перетворювача на напругу для подальшого її масштабування. У разі використання одного зразкового резистора шкала такого АІО матиме нелінійний характер.

Схема АІО-І, зображена на рис. 5, а характерна тим, що вона може відтворювати опір тільки за одного визначеного напрямку протікання вимірювального струму.

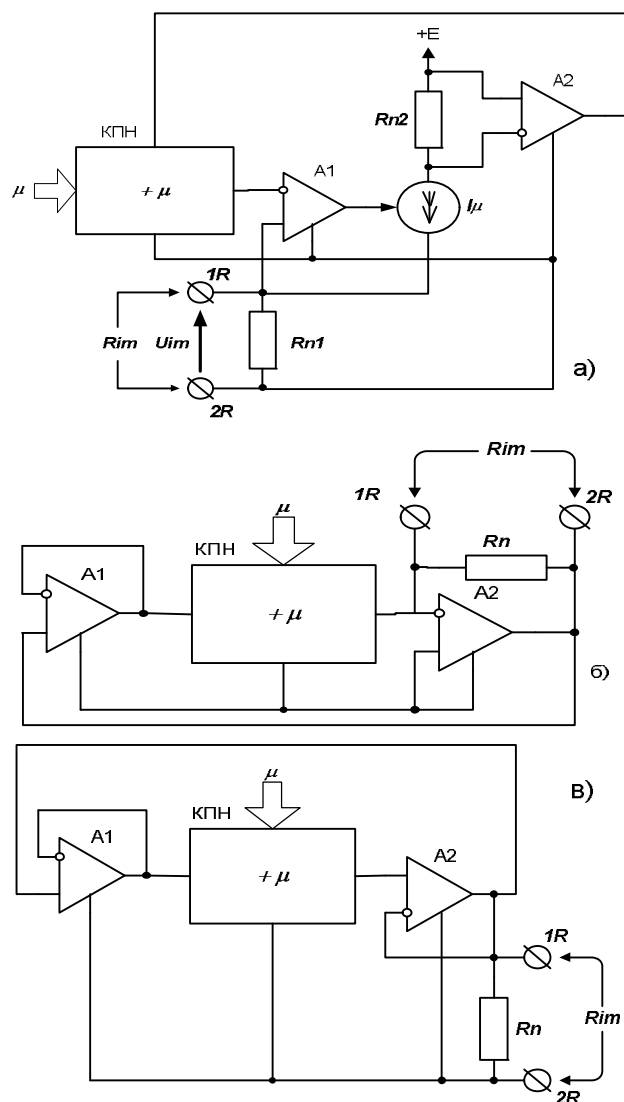


Рис. 5. Схеми АІО з масштабуванням компенсуючого струму

Позитивною властивістю схем, поданих на рис. 5,6 та в, є простота їх реалізації на базі сучасних інтегральних ЦАП напруги.

Активні імітатори сигналів електричної ємності та індуктивності. Сьогодні в промисловості експлуатується великий парк цифрових вимірювачів RLC-параметрів та цифрових трансформаторних мостів [7]. Використовувані магазини ємностей та індуктивностей за комплексом своїх метрологічних характеристик вже не задовольняють вимоги калібрування сучасних вимірювачів LC-параметрів. Тому доцільно створювати кодокеровані міри ємності та індуктивності на базі схем конверторів опорів [8].

Конвертори опорів являють собою активні перетворювачі, що дають змогу отримати певну залежність між вхідним опором схеми та окремим опором, що входить в перетворювач [8]. На рис. 6 наведено конвертор, що дає змогу одержати залежність виду $Z_{ex} = k \cdot Z_n$, де k – коефіцієнт перетворення.

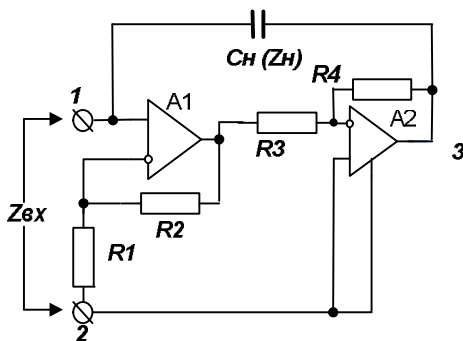


Рис. 6. Активний імітатор ємності

Для поданої схеми комплексний вхідний опір схеми визначатиметься залежністю:

$$Z_{ex} = Z_n \cdot \frac{1}{1 + (1 + R_2/R_1) \cdot R_4/R_3}. \quad (5)$$

Зокрема, якщо як Z_n увімкнути конденсатор ємністю C_n , то вхідний опір схеми матиме ємнісний характер:

$$C_{ex} = [1 + (1 + R_2/R_1) \cdot R_4/R_3] \cdot C_n. \quad (6)$$

Встановлюючи різні співвідношення R_2/R_1 та R_4/R_3 , можна у широких межах змінювати еквівалентну ємність схеми. Якщо замість опорів R_3, R_4 увімкнути інтегральний резистивний цифро-аналоговий перетворювач, то можна змінювати еквівалентну ємність схеми з дискретністю, що визнача-

тиметься дискретністю використаного цифро-аналогового перетворювача.

Для побудови мір індуктивності використовують метод імітації індуктивності на базі активних RC-ланок. Серед них комплекс найкращих метрологічних характеристик мають міри на основі гіраторів (рис. 7).

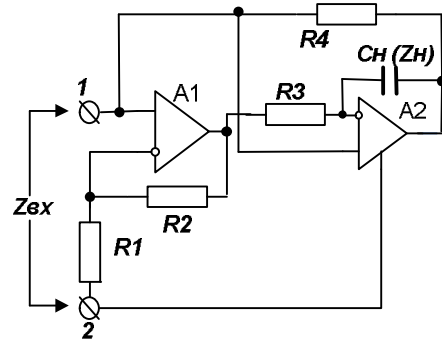


Рис. 7. Активний імітатор індуктивності

Значення вхідного опору цієї схеми дорівнюватиме:

$$Z_{ex} = j\omega C_n R_3 R_4 \frac{R_1}{R_2}. \quad (7)$$

Отже, відтворювана мірою (рис. 7) еквівалентна індуктивність дорівнюватиме

$$L = C_n R_3 R_4 \frac{R_1}{R_2}. \quad (8)$$

На основі цієї структури можна реалізувати еквівалентні високочастотні індуктивності великих значень у звуковому діапазоні частот з похибкою, меншою, ніж $\pm 0,2\%$.

Активні імітатори сигналів реостатних та тензорезистивних перетворювачів. У технологічних процесах у давачах тиску, сили, переміщень, витрат широко використовуються реостатні та тензорезистивні перетворювачі [7]. Принцип дії реостатного перетворювача полягає у зміні положення повзунка під дією вхідної перетворюваної величини. Увімкнення АІО, подане на рис. 8, дає змогу реалізувати функцію відтворення сигналу реостатного перетворювача, з одночасним усуненням основних паразитних параметрів останнього (контактний шум, вплив опору навантаження, низька дискретність вихідного опору). Дискретність зміни вихідного сигналу реостатного перетворювача визначатиметься розрядністю КПН і для поширених 16-розрядних цифро-аналогових перетворювачів становитиме 65536 дискрет.

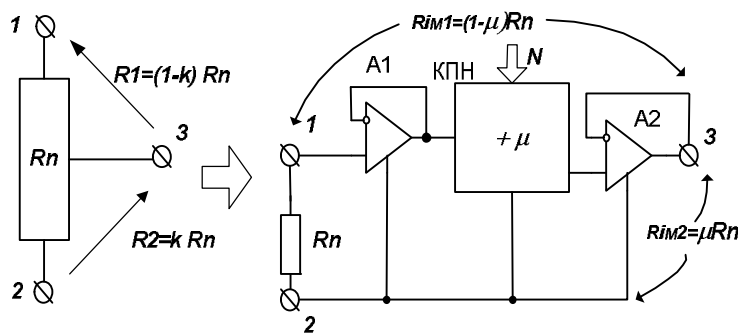


Рис. 8. Схема імітатора сигналу реостатного перетворювача

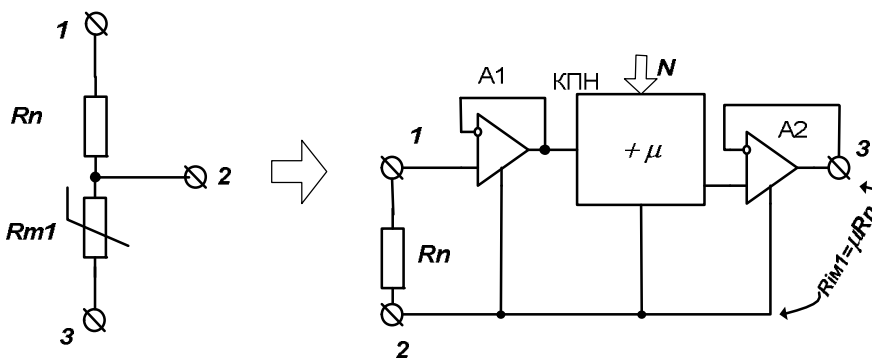


Рис. 9. Схема імітатора сигналу тензорезистивного перетворювача з одним активним тензорезистором

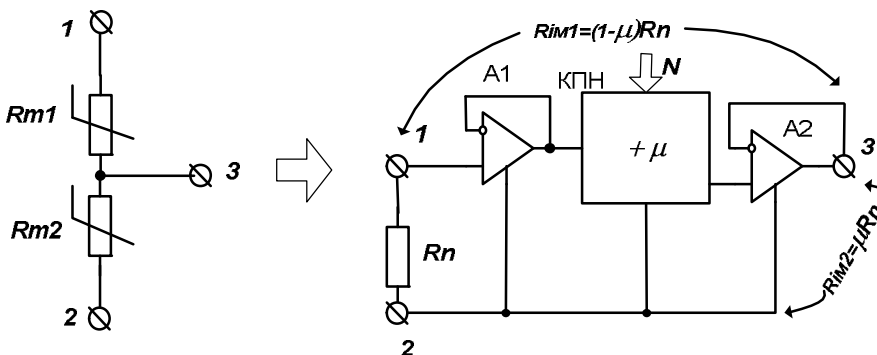


Рис. 10. Схема імітатора сигналу тензорезистивного перетворювача з одним активним тензорезистором

Оскільки схеми увімкнення тензорезистивних перетворювачів є різноманітнішими (з одним тензорезистором, півмостова та мостова), то для імітації їх вихідних сигналів на основі АІО можна запропонувати такі структури.

Для відтворення сигналів тензорезистивного перетворювача, побудованого за мостовою схемою, можна використати два АІО, увімкнені за схемою рис. 10.

Специфіка відтворення сигналів тензорезистивних перетворювачів полягає у малому динамічному

діапазоні зміни його вихідного сигналу: 1...2 % для металевих і 5...10 для напівпровідникових тензорезисторів. Для забезпечення необхідної дискретності зміни вихідного сигналу імітатора сигналу тензорезистивного перетворювача в його складі необхідно використовувати 16...18-розрядні КПН.

Використання структури АІО дає змогу програмним способом відтворювати сигнали індивідуально градуйованих тензорезистивних перетворювачів. Для цього необхідно мати введені в програму

калібратора індивідуальні градувальні характеристики тензорезистивних перетворювачів, з якими працюють відповідні ЗВ.

Висновки. Виконаний аналіз показує, що, застосовуючи два операційні підсилувачі, інтегральний цифро-аналоговий перетворювач та кілька пасивних елементів, можна створювати багатозначні кодокерівані міри-імітатори сигналів опору, напруги, струму, індуктивності та ємності.

Використання АІО як базової структури для побудови калібраторів для метрологічної перевірки промислових ЗВ дає змогу зменшити вартість цих калібраторів та одночасно підвищити їх метрологічну надійність. Важливою перевагою калібраторів на основі АІО є простота реалізації функцій відтворення вихідних сигналів більшості первинних перетворювачів, які використовують у сучасних технологічних процесах.

Подальші дослідження необхідно здійснювати у таких напрямках: по-перше, мінімізації зв'язків між структурними елементами при реалізації багатофункціонального калібратора, по-друге, оптимізації структури з метою зменшення вимог до параметрів елементів із забезпеченням необхідних характеристик калібратора.

1. Вострокнутов Н.Н., Кашлаков В.М. Об автоматизации поверки средств измерений электрических

величин // Измерительная техника. – 1976. – № 11. – С.70–73. 2. Лысенков А.И. Методы и средства испытания автоматических приборов следящего уравновешивания // Метрологическое обеспечение измерений. – 1986. – № 4. – С.50. 3. Микийчук М.М., Огірко Р.М. Шляхи побудови багатозначних мір опору для перевірки теплотехнічних засобів вимірювань. // Автоматика, вимірювання та керування. Вісник Держ. ун-ту "Львівська політехніка". – 1998. – № 348. – С. 42–48. 4. Потапова Л.Г., Рейх Г.А., Фролова М.Н. Современное состояние и основные направления развития метрологического обеспечения электроизмерительной техники // Метрологическое обеспечение электроприборостроения: сб.науч.трудов ВНИИЭП. – Л., 1984. – С.3–10. 5. Дунаев А.Н., Грязнов И.М., Путилин А.Л. Комплекс технических средств для автоматизации, контроля и поверки средств измерений // Измерительная техника. – 1985. – №6 – С.61–63. 6. Микийчук М.М., Огірко Р.М. Особенности побудови калібраторів для перевірки засобів вимірювання і контролю параметрів технологічних процесів // Автоматика, вимірювання та керування // Вісник Держ. ун-ту "Львівська політехніка". – 1998. – № 348. – С. 23–29. 7. Поліщук Є.С., Дорожовець М.М., Яцук В.О. та ін. Метрологія та вимірювальна техніка: Підручник / За ред. проф. Є.С. Поліщука. – Львів: Бескид Біт, 2003. – 544 с. 8. Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. – Л.: Энергия, 1980. – 248 с.