

УДК 681.325; 681.335

О.Й. ГУЛЯС, О.П. ВОЙТЮК, І.В. ТРОЦИШИН

Хмельницький національний університет

## ВИМІРЮВАННЯ ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ МЕТОДОМ КОІНЦИДЕНЦІЇ

Наведено опис методу коінциденції. Розглянуто можливість застосування методу коінциденції для вимірювання постійної напруги. Встановлено і наглядно показано, що вольтметр коінциденції має набагато більшу кількість квантованих значень шкали вимірювального пристрою. Роздільна здатність шкали збільшується у степеневій залежності із збільшенням розрядності цифрових перетворювачів.

The description of the coincidence method. The possibility of applying the method by coincidence to measure DC. Determined and clearly shown that a much larger number of quantized values of the scale is in the measuring device that works by using coincidence method. Resolution scale increases in exponential dependence with increasing digit digital converters.

Ключові слова: вимірювання постійної напруги, вольтметр коінциденції, ЦАП-АЦП.

## Вступ

Вимірювання напруги одне з найпоширеніших видів вимірювань. У різних галузях науки й техніки ці вимірювання здійснюються в широкому діапазоні вимірюваних значень напруги (від нановольт до сотень кіловольт).

Вимірювання постійної напруги полягає в знаходженні їх значень і полярності. Вибір методу і засобів для вимірювання напруги обумовлюється необхідною точністю вимірювання. Залежно від способу одержання результату, методи вимірювань поділяються на прямі, при яких значення напруги вимірюється безпосередньо, і непрямі, результат яких вираховується залежно від результатів прямих вимірювань величин, пов'язаних з вимірюваною величиною тієї або іншою функціональною залежністю.

Для вимірювання напруги застосовуються наступні основні методи вимірювань:

- безпосередньої оцінки, при якому числове значення вимірюваної величини визначається за відліковим пристроєм, від градуїванням в одиницях цієї величини;
- порівняння, при якому значення вимірюваної величини визначається на основі порівняння впливу вимірюваної величини на якусь систему із впливом на цю ж систему еталону вимірюваної величини. У приладах для виміру напруги застосовуються три різновиди методу порівняння: нульовий, диференціальний і заміщення.

Метод використання двох багатозначних нерегульованих мір з неоднаковими розмірами квантів  $q_1$  і  $q_2$ , нульові мітки яких зміщені на вимірюваний інтервал  $X$  (рис. 1), застосовується для виміру малих значень  $X$ , розмір яких менше, ніж кванти  $q_1$  і  $q_2$ , у тих випадках, коли при зіставленні мітки не збігаються і потрібно виміряти відносно положення міток. При використанні двох мір і кратності підвищення чутливості, рівної  $n$ , друга міра повинна мати рівні квантування, що дорівнюють:

$$q_2 = q_1 \left( 1 - \frac{1}{n} \right). \quad (1)$$

При вимірюванні нульові мітки мір зміщуються на вимірювану величину  $X$ , а потім відповідно наведеному нижче алгоритму вимірювань визначають числове значення результату виміру  $N_x$ , по номеру найближчої з міток, що співпали. Алгоритм однократного ноніуса

$$N_x q_1 - (X + N_x q_2) < q_1 / n. \quad (2)$$

Нехтуючи  $q_1 / n$  і враховуючи (1), одержуємо рівняння методу ноніуса

$$N_x = E \left\lfloor \frac{X}{q_1 / n} \right\rfloor = E \left\lfloor \frac{nX}{q_1} \right\rfloor. \quad (3)$$

Таким чином, завдяки надлишковості методу ноніуса (замість однієї нерегульованої багатозначної міри застосовується дві), рівень квантування зменшений в  $n$  раз. Це можна трактувати ще і як множення величини  $X$  в  $n$  раз і визначення відношення величини  $nX$  до рівня основної міри.

$$N_x = E \left\lfloor nX / q_1 \right\rfloor. \quad (4)$$

Рівняння методу ноніуса для  $n = 10$  при десятикратному збільшенні роздільної здатності:

$$X = N_x (q_1 - q_2) = N_x (q_1 - 0.9q_1) = N_x 0.1q_1. \quad (5)$$

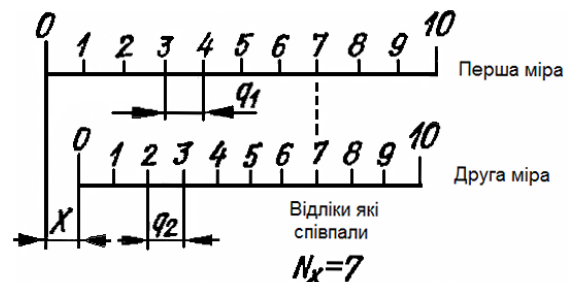


Рис. 1. Графічне представлення методу співпадіння, або методу ноніуса

Ноніусний метод називають також методом співпадіння на тій підставі, що в ньому використовується співпадіння міток. Однак, тут немає збігу міток, а є тільки їх максимальне зближення, яке вираховується завдяки зміні знаку зсуву фаз між ними.

Метод збігу використовують тоді, коли не можна створити міру із рівнями, меншими в  $n$  раз (наприклад, лінійку з поділками, рівними 0.1 мм). Метод ноніуса застосовують головним чином для вимірювань переміщень і малих інтервалів часу.

#### Дослідження математичної моделі методу

Використання методу ноніуса (коінциденції) також можна спробувати і для вимірювання постійної напруги. У даному випадку воно полягатиме у співпадінні кодів. На ЦАП подається цифровий код, який квантує кожен з напруг (опорну і невідому). Компаратор порівнює напруги які квантами подаються на його вхід.

Кількість квантів дорівнює розрядності ЦАП. Відградувана опорна напруга це перша міра (рис. 1.), а друга міра, це ноніус, шкала якого змінюється залежно від шуканої напруги.

Відбувається порівняння конкретних незмінних кодів, а не напруг, величини яких можуть змінюватись в деяких межах.

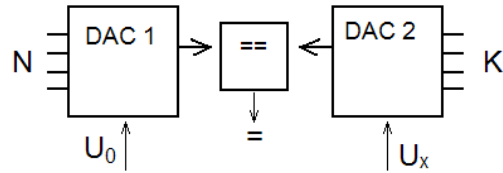


Рис. 2. Вольтметр коінциденції. Структурна схема

$$U_x = \frac{N}{K} \cdot U_0 \quad (6)$$

де  $U_x$  – невідома напруга,  $U_0$  – опорна напруга,  $N$  і  $K$  – коди, що подаються на кожен ЦАП.

На основі математичної моделі (6) було проведено дослідження технічних характеристик вимірювального приладу (рис. 2). На вхід  $U_0$  подали опорну напругу в 10 вольт, а на вхід  $U_x$  – невідому напругу, яку лінійно збільшували від 0 до  $U_0$ . А потім  $U_0 \div 2 \cdot U_0$ . Було виявлено, що за допомогою вольтметра, побудованим на основі даної схеми (рис. 2) можна проводити вимірювання не тільки в межах  $0 \div U_0$ , в яких дозволяє проводити вимірювання вольтметр побудований на основі звичайного АЦП (рис. 9), але і в межах, більших за  $U_0$ . (рис. 3).

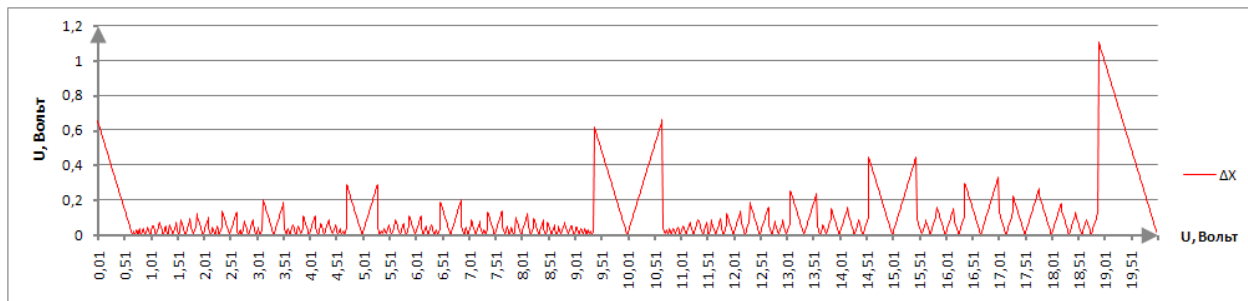


Рис. 3. Діаграма залежності значень абсолютної похибки від вимірюваної напруги

На основі цих спостережень було вирішено, що варто провести подальше дослідження даного вимірювального приладу із вимірюванням напруг значно більших від  $U_0$ . Було встановлено, що теоретично вольтметр коінциденції може вимірювати значення напруг, які на порядок вищі, за  $U_0$ . (рис. 4)

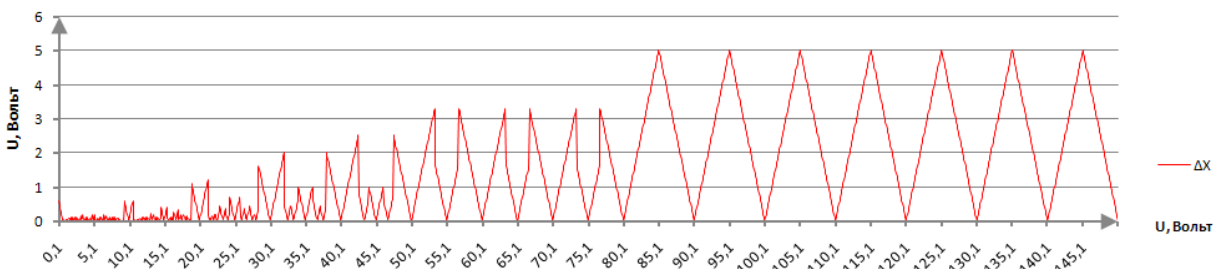


Рис. 4. Діаграма залежності значень абсолютної похибки від вимірюваної напруги

При зменшенні вдвічі опорної напруги діапазон вимірюваних значень також зменшується в двічі. (рис. 5)

Аналізуючи отримані результати під час дослідження вольтметра коінциденції (рис. 2) було

встановлено:

- максимальне значення абсолютної похибки не перевищує половини опорної напруги, що видно на Рис. 4 і на Рис. 5.
- було виведено залежність величини діапазону в якому можна проводити вимірювання:
- $0 \div 2^N \cdot U_0$ . (7)
- величини абсолютних похибок і їх кількість – зростає із збільшенням вимірюваної напруги.

(рис. 4)

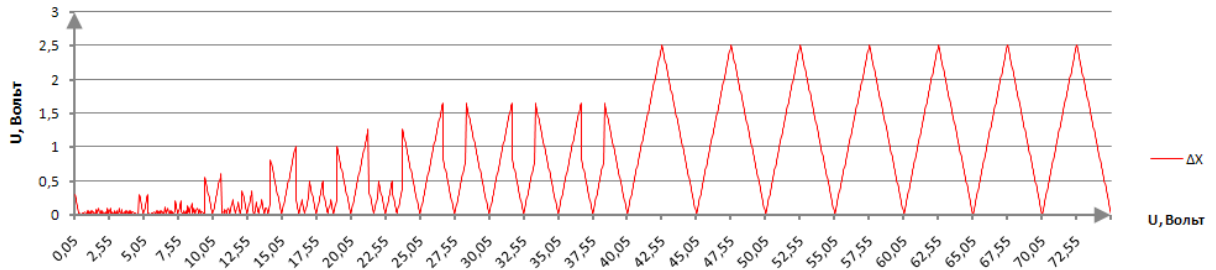


Рис. 5. Діаграма залежності значень абсолютної похибки від вимірюваної напруги

Зростання абсолютних похибок під час вимірювань напруги носить нерівномірний характер. На початку діапазону величини похибок і їх кількість менша. Із збільшенням вимірюваної напруги похибки і їх кількість збільшується. А кількість значень напруги, які можна виміряти без похибок – зменшується, із збільшенням напруги, яку вимірюємо.

Це, так звана шкала тих значень постійної напруги, які можна вимірювати надзвичайно точно даним вимірюваним приладом. Поділки на цю шкалу нанесені нерівномірно. На початку шкали поділки нанесені частіше, в кінці – рідше. Прорідження поділок по шкалі від її початку до кінця відбувається не поступово і не рівномірно. На діаграмі (рис. 5) можна побачити певні під діапазони з великими значеннями вимірюваних напруг, в яких поділки нанесені більш рівномірно.

При дослідженні вольтметра, побудованого на основі вже 5-ти розрядних ЦАП і опорною напругою в 10 Вольт, було встановлено, що діапазон напруги, в якому даний вимірюваний прилад може вимірювати напругу збільшився вдвічі. (рис. 6)

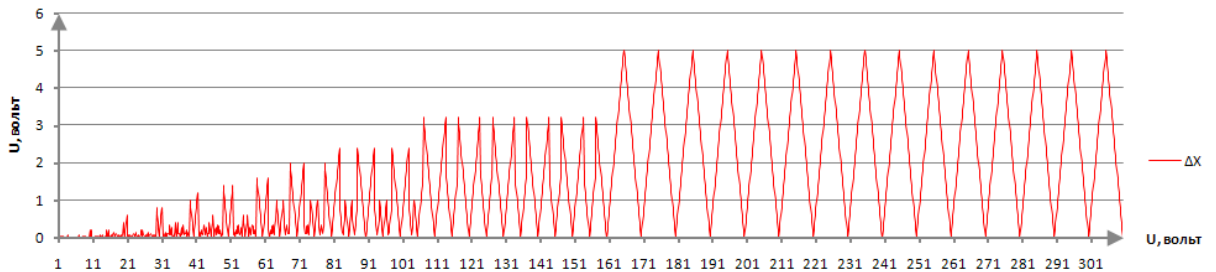


Рис. 6. Діаграма залежності значень абсолютної похибки від вимірюваної напруги

Також було встановлено, що з покращенням технічних характеристик приладу (рис. 2), а зокрема, із збільшенням розрядності ЦАП на одиницю, значення абсолютних похибок вимірювання зменшуються вдвічі. (рис. 7) і (рис. 8):

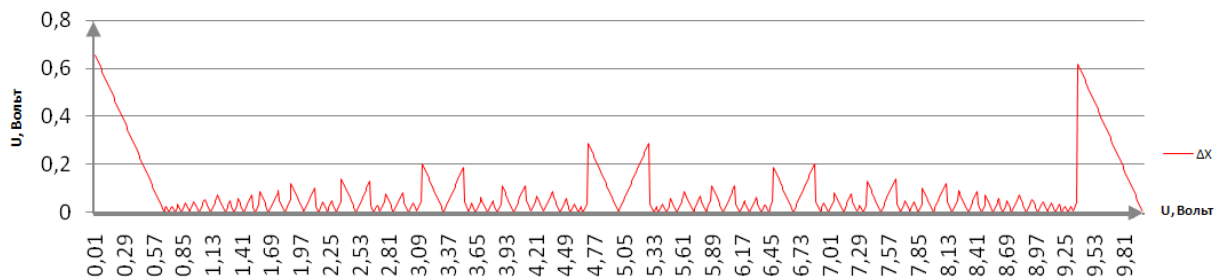


Рис. 7. Значення абсолютних похибок вимірювання напруги вольтметром на основі 4-розрядного ЦАП.

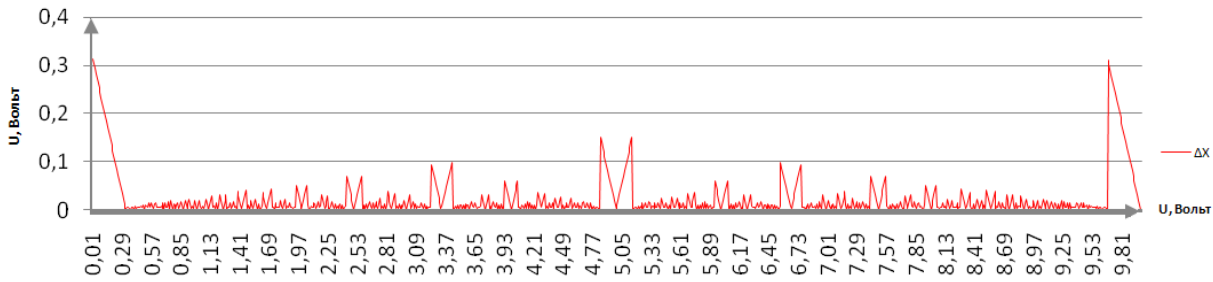


Рис. 8. Значення абсолютних похибок вимірювання напруги вольтметром на основі 5-розрядного ЦАП

Для наглядності, проведемо порівняння результатів вимірювання вольтметра коінциденції (рис. 2), на основі двох 4-розрядних ЦАП із результатами вимірювання вольтметром, на основі звичайного АЦП (рис. 9). В обох вольтметрах на основі 4-розрядних перетворювачів значення опорної напруги було встановлено на рівні 10 вольт. Для порівняльного вимірювання було обрано діапазон вимірювальної напруги від 0 до 10 Вольт.

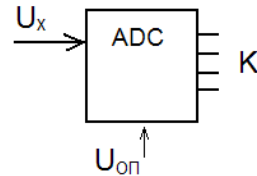


Рис. 9. Структурна схема вольтметра на основі звичайного АЦП

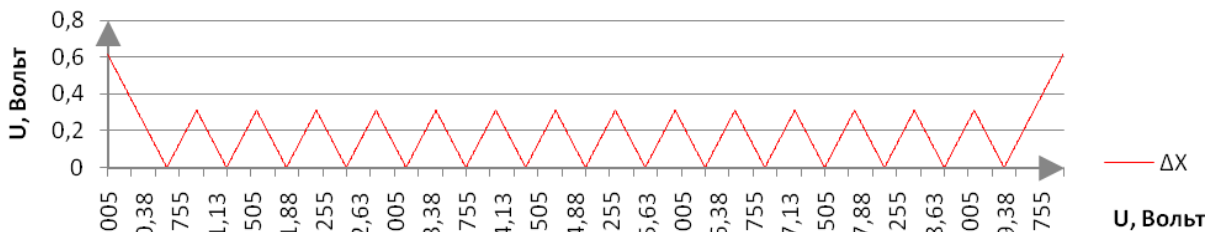


Рисунок 10. Значення абсолютних похибок вимірювання напруги вольтметром на основі 4-розрядного АЦП. (рис. 9.)

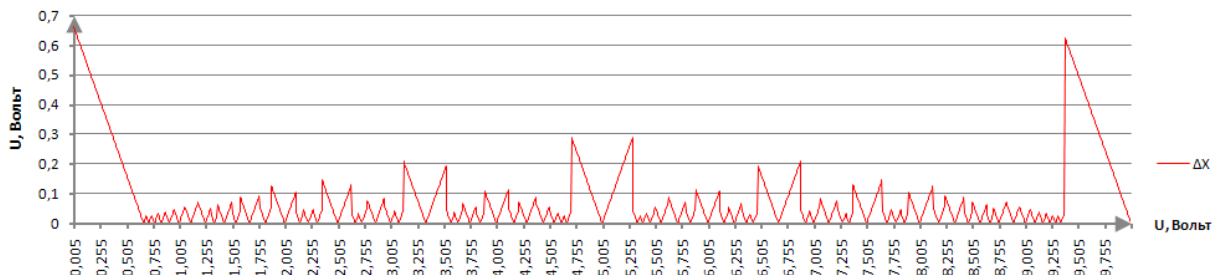


Рис. 11. Значення абсолютних похибок вимірювання напруги вольтметром на основі 4-розрядного ЦАП. (рис. 2)

Як видно із діаграм, представлених на Рис. 10 і на Рис. 11, вольтметр на основі 4-розрядного АЦП може вимірювати напругу тільки в межах  $0 \div U_{оп}$  і на цьому проміжку ( $0 \div 10$  вольт) може видати тільки 16 конкретних значень напруги, які він виміряв без похибок. А вольтметр на основі двох 4-розрядних ЦАП може виміряти без похибок на тому-ж проміжку 30 значень напруги. І це, не враховуючи тих значень напруги, з діапазону в якому вимірювання не проводилось, адже цей вимірювальний прилад, на основі двох 4-розрядних ЦАП, може вимірювати напругу в межах: (7).

У вимірювального приладу на основі звичайного 4-розрядного АЦП рівномірна не тільки шкала, а також абсолютні похибки вимірювання змінюються рівномірно. У вольтметру на основі 4-розрядних ЦАП такої рівномірності не спостерігається, але ж він і значень на тому-ж проміжку вимірювання може видати майже в 2 рази більше.

Якщо ж порівняти абсолютні похибки вимірювання (рис. 10) і (рис. 11) то при вимірюванні певного значення напруги вольтметр коінциденції на основі двох 4-розрядних ЦАП може виміряти її з набагато меншою абсолютною похибкою, або ж взагалі без похибки, на відміну від вольтметра на основі 4-розрядного АЦП, середнє значення абсолютної похибки якого складає 0.1758 Вольт, а у вольтметру коінциденції, побудованого на основі двох 4-розрядних ЦАП, середнє значення абсолютної похибки складає 0.0832 Вольт, що у два рази менше.

Для порівняння проведемо розрахунки кількості квантованих значень шкали перетворення для вимірювального приладу на основі звичайного АЦП і для вимірювального приладу побудованого за методом коінциденції, для типових значень кількості розрядів перетворювачів.

Порівняльна характеристика вимірювальних приладів

Тип вимірювального приладу	Розрядність перетворювачів							
	3	4	5	6	7	8	9	10
	Кількість квантованих значень шкали							
На основі звичайного АЦП	8	16	32	64	128	256	512	1024
На основі двох ЦАП	43	159	647	2519	10043	39895	159703	655360
Приріст квантованих значень	35	143	615	2455	9915	39639	159191	654336
Виграш	5,38	9,94	20,22	39,36	78,46	155,84	311,92	640

**Висновки**

У даній статті було наведено огляд результатів отриманих під час вимірювання вольтметром коінцидентії і порівняння їх із результатами вимірювання вольтметром на основі звичайного АЦП. В ході проведення досліджень було встановлено, що вольтметр коінцидентії може вимірювати значення постійної напруги в межах  $0 \div 2^N \cdot U_{оп}$ .

А якщо порівнювати роботу приладів під час вимірювання напруг тільки в межах  $0 \div U_0$ , то вольтметр коінцидентії здатен виміряти найбільш точно в два рази більше значень напруги, ніж вольтметр на основі звичайного АЦП, і, до того ж, із точністю більшою вдвічі.

Встановлено, що при використанні методу коінцидентії кількість квантованих значень шкали вимірювального пристрою значно більша, ніж прийнято використовувати у вольтметрах на основі звичайних АЦП в класичних двійкових перетворювачах.

Із збільшенням розрядності цифрових перетворювачів вольтметра коінцидентії, роздільна здатність збільшується у степеневій залежності в порівнянні із вольтметром на основі звичайного АЦП з однаковими кількостями розрядів перетворювачів.

Виграш роздільної здатності вольтметра коінцидентії із 10 розрядними перетворювачами складає 640 разів, і шкала перетворення є досить лінійною.

Вважаю доцільним подальше дослідження даного вимірювального приладу і знаходження певних оптимізаційних рішень, для покращення його технічних характеристик.

**Література**

1. Орнатский П.П. Автоматические измерения и приборы / П.П. Орнатский. – К.: Вища школа, 1971 – 552 с.
2. Кузнецов В.А. Измерения в электронике: Справочник / В.А. Кузнецов, В.А. Долгов, В.М. Долгов, и др.; Под ред. В.А. Кузнецова. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 512 с.
3. Троцишин І.В. Шляхи підвищення роздільної здатності шкали вимірювального перетворення ЦАП і АЦП. / І.В.Троцишин, О.П. Войтюк., Н.І. Троцишина // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2010. – № 2. – С. 236– 241.

Надійшла до редакції  
21.3.2011 р.

УДК 621.317

**О.П. СИНИЦКИЙ, А.П. ТКАЧ**

Национальный технический университет Украины «КПИ»

**Н.И. СЫПКО**

Институт физики полупроводников им. Лашкарева В.Е. НАН Украины

## АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ КОРРЕКЦИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ В ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРАХ НА ОСНОВЕ МАГНИТОРЕЗИСТИВНЫХ ДАТЧИКОВ

*Рассмотрена работа магниторезистивных датчиков и особенности их устройства. Проведен анализ возможностей и эффективности коррекции мультипликативных и аддитивных погрешностей с помощью специально встроженных катушек OFFSET и SET/RESET.*

*Here was considered an activity of magnetoresistive sensors and the peculiarity of their organization. The analyse of opportunity and efficiency of correction multiplicative and additive accuracies with the help of special inbuilt spoos OFFSET and SET/RESET was conducted.*

Ключові слова: магніторезистивний давач, мостові схеми, корекція похибок, мультиплікативні та адитивні похибки.