



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 158222

(13) U

(51) МПК

G01R 15/04 (2006.01)

G01R 15/08 (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2024 03096	(72) Винахідник(и): Кочан Орест Володимирович (UA), Заставний Олег Михайлович (UA), Кочан Наталія Романівна (UA), Кочан Роман Володимирович (UA), Саченко Анатолій Олексійович (UA), Кочан Володимир Володимирович (UA)
(22) Дата подання заявки: 12.06.2024	
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 09.01.2025	
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 08.01.2025, Бюл.№ 2	(73) Володілець (володільці): Заставний Олег Михайлович, вул. Б. Лепкого, 14/22, м. Тернопіль, 46024 (UA), ЗАХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Львівська, 11, м. Тернопіль, 46009 (UA)

(54) СПОСІБ КОРЕКЦІЇ ПОХИБОК ВИМІРЮВАЛЬНОГО КАНАЛУ

(57) Реферат:

Спосіб корекції похибок вимірювального каналу включає періодичне калібрування цього вимірювального каналу та наступну корекцію його поточних результатів вимірювання за результатами цього калібрування. При цьому процес калібрування розбивають на шість етапів. На першому етапі вимірюють та запам'ятовують спади напруги на резисторах одного номінального опору, з яких складено подільник напруги спеціалізованого пристрою калібрування вимірювального каналу. На другому етапі масштабують отримані при виконанні першого етапу спади напруги таким чином, щоб їх сума відповідала напрузі джерела напруги калібрування. На третьому етапі обчислюють і запам'ятовують суми масштабованих спадів напруги на резисторах подільника напруги за наростанням номерів резисторів. На четвертому етапі на вхід вимірювального каналу напруги з виходу спеціалізованого пристрою калібрування вимірювального каналу подають напруги за наростанням номерів резисторів і запам'ятовують результати їх вимірювання вимірюваним каналом. На п'ятому етапі від отриманих на четвертому етапі результатів вимірювання віднімають отримані на третьому етапі суми масштабованих спадів напруги на резисторах подільника напруги за наростанням відповідних номерів резисторів. На шостому етапі за допомогою регресійного аналізу апроксимують отримані на п'ятому етапі значення функції похибки вимірювального каналу. Далі отриману на шостому етапі функцію використовують для корекції поточних результатів вимірювання даним вимірювальним каналом.

UA 158222 U

Пропонована корисна модель належить до вимірювальної техніки і може бути використана для калібрування та метрологічної перевірки вимірювальних каналів напруги вимірювальних приладів, інформаційно-вимірювальних систем і систем збору даних, а також підвищення точності результатів їх поточних вимірювань за рахунок корекції поточних похибок цих вимірювальних каналів за результатами їх поточних калібрувань.

Широко відомий та часто застосовується спосіб корекції похибки вимірювального каналу за результатами встановлення нуля та калібрування [1]. Цей процес полягає у фіксації результатів вимірювання при закороченому вході U_0 та напруги опорного джерела напруги U_e з відомим з високою точністю значенням його напруги U_{et} . За результатами цих вимірювань коригують поточні результати вимірювання U_x за формулою:

$$U_{xk} = U_{et} * (U_x - U_0) / (U_e - U_0), \quad (1)$$

де U_{xk} - скоригований поточний результат вимірювання.

Але цей спосіб корекції є ефективним, тобто, зменшує похибку поточного результату вимірювання, лише у тому випадку, коли функція похибки вимірювального каналу, точність якого підвищують (надалі досліджуваного вимірювального каналу), близька до лінійної. Інакше похибка досліджуваного вимірювального каналу може навіть зрости. На фіг. 1 показано приклад такого результату корекції. Функція 1 похибки вимірювального каналу нелінійна. При калібруванні за способом [1] значення функції похибки після корекції при вимірюваннях нульової вхідної напруги та напруги опорного джерела напруги прямують до нуля (ліва та права стрілки). Але, як видно з фіг. 1, у проміжку між нулем і значенням опорної напруги нелінійність функції похибки не зменшує поточну похибку вимірювального каналу, і може, при значній нелінійності функції похибки вимірювального каналу, навіть її збільшити.

Через це калібрування за способом [1] було ефективним декілька десятків років тому для вимірювальних каналів невисокої за нинішніми мірками точності та розрядності. На сьогодні вимірювальні канали навіть без корекції мають досить високу розрядність, тому для значного та надійного з метрологічної точки зору підвищення точності необхідно враховувати не лінійність функції їх похибки.

Діючий стандарт на метрологічну перевірку [2] цифрових засобів вимірювання для вимірювальних каналів з гладкою функцією похибки без розривів та стрибків передбачає визначення похибки у 5-6 точках діапазону вимірювання, рівномірно розміщених по діапазону вимірювання. Для врахування нелінійності функції похибки вимірювальних каналів випускаються ряд засобів, які формують на вході вимірювального каналу потрібний набір напруг - калібратори напруги [3-6]. Однак відомі калібратори доволі складні, використовують елементи високої точності та стабільності. Наприклад, індуктивні подільники напруги [3], друковані манганінові резистори [4], широтно-імпульсні модулятори [5] та спеціально відібрані зістарені резистори високої стабільності [6]. Тому такі калібратори доволі дорогі.

Найближчим аналогом пропонованої корисної моделі є спосіб корекції поточних результатів вимірювань вимірювального каналу за результатами його періодичного калібрування відповідно до діючого стандарту на метрологічну перевірку [2] цифрових засобів вимірювання. Недоліками цього способу є залежність невиключеної похибки корекції поточних результатів вимірювань вимірювального каналу від способу апроксимації функції похибок і необхідність проводити періодичне калібрування, за результатами якого можна коригувати поточні похибки вимірювального каналу з високою метрологічною надійністю, в умовах спеціалізованої метрологічної лабораторії через велику складність обладнання для проведення калібрування.

Задачею даної корисної моделі є підвищення точності вимірювального каналу шляхом корекції поточних результатів його вимірювань за результатами періодичного калібрування без необхідності його демонтажу, на місці експлуатації, для чого потрібен спеціалізований пристрій калібрування вимірювального каналу для реалізації пропонованого способу.

Поставлена задача вирішується тим, що у способі корекції похибок вимірювального каналу, що включає періодичне калібрування цього вимірювального каналу та наступну корекцію його поточних результатів вимірювання за результатами цього калібрування, згідно з корисною моделлю, процес калібрування розбивають на шість етапів: на першому етапі вимірюють та запам'ятовують спади напруги на резисторах одного номінального опору, з яких складено подільник напруги спеціалізованого пристрою калібрування вимірювального каналу; на другому етапі масштабують отримані при виконанні першого етапу спади напруги таким чином, щоб їх сума відповідала напрузі джерела напруги калібрування; на третьому етапі обчислюють і запам'ятовують суми масштабованих спадів напруги на резисторах подільника напруги за наростанням номерів резисторів; на четвертому етапі на вхід вимірювального каналу напруги з виходу спеціалізованого пристрою калібрування вимірювального каналу подають напруги за наростанням номерів резисторів і запам'ятовують результати їх вимірювання вимірюваним

каналом; на п'ятому етапі від отриманих на четвертому етапі результатів вимірювання віднімають отримані на третьому етапі суми масштабованих спадів напруги на резисторах подільника напруги за наростанням відповідних номерів резисторів; на шостому етапі за допомогою регресійного аналізу апроксимують отримані на п'ятому етапі значення функції похибки вимірювального каналу; у подальшому отриману на шостому етапі функцію використовують для корекції поточних результатів вимірювання даним вимірювальним каналом.

Для досягнення високої точності корекції поточної похибки вимірювального каналу, відповідно до найближчого аналога, необхідно періодично калібрувати цей вимірювальний канал. Для додаткового підвищення точності вимірювального каналу шляхом додаткового зменшення його невиключеної похибки пропонується розбити процес калібрування на шість етапів. На першому етапі вимірюють і запам'ятовують спади напруги на резисторах одного номінального опору, з яких складено подільник напруги пристрою калібрування вимірювального каналу (відповідно до [7]). На другому етапі масштабують отримані при виконанні першого етапу спади напруги таким чином, щоб їх сума відповідала напрузі джерела напруги калібрування. На третьому етапі обчислюють і запам'ятовують суми масштабованих спадів напруги на резисторах подільника напруги за наростанням номерів резисторів, тобто, при подачі на вихід спеціалізованого пристрою калібрування вимірювального каналу спочатку спаду напруги на одному (першому) резисторі, потім на двох (першому і другому) резисторах і так далі до суми спадів напруги на всіх резисторах подільника напруги. На четвертому етапі на вхід досліджуваного вимірювального каналу напруги з виходу спеціалізованого пристрою калібрування вимірювального каналу подають напруги за наростанням номерів резисторів і запам'ятовують результати їх вимірювання цим вимірюваним каналом. На п'ятому етапі від отриманих на четвертому етапі результатів вимірювання віднімають отримані на третьому етапі суми масштабованих спадів напруги на резисторах подільника напруги за наростанням відповідних номерів резисторів. На шостому етапі за допомогою регресійного аналізу апроксимують отримані на п'ятому етапі значення функції похибки вимірювального каналу. У подальшому отриману на шостому етапі функцію використовують для корекції поточних результатів вимірювання досліджуваним вимірювальним каналом.

На фіг. 2, 3, 4 подано результати моделювання пропонованого способу за допомогою табличного процесора Excel. На фіг. 2 показана підготовка до моделювання пропонованих етапів калібрування. У другій стрічці таблиці задано номінальне значення опору R_{nom} резисторів подільника напруги 1 кОм і значення вихідної напруги прецизійного стабілізатора $U_{et}=9,9$ В. У третій стрічці вказано допустиме відхилення опору резисторів подільника від номінального значення D_{rmax} 20 Ом, що відповідає 2 %.

У четвертій стрічці подано заголовки колонок таблиці. У першій колонці вказано точки УХТ діапазону вимірюваних при калібруванні напруг - від 0 до 10 В. У другій колонці задані випадкові числа $V_{ur.chys}$, які імітують відхилення опору резисторів подільника напруги від номінального значення. У третій колонці ці випадкові числа центруються і масштабуються за формулою $(v_{ur.ch.}+/-)=20*(v_{ur.ch.}-0,5)$ для імітації максимального відхилення саме на 2 %. У четвертій колонці за значеннями R_{nom} та $(v_{ur.ch.}+/-)$ обчислюються дійсні значення опору резисторів подільника напруги R_i . Внизу четвертої колонки обчислюється сумарний опір резисторів подільника напруги. У третій стрічці п'ятої колонки за законом Ома обчислюється струм подільника I_{podil} як частка від ділення вихідної напруги прецизійного стабілізатора 9,9 В на сумарний опір резисторів подільника напруги. Нижче у п'ятій колонці обчислюються значення спадів напруги на резисторах подільника напруги U_{ri} . У шостій колонці задана випадкова похибка вимірювання спадів напруги на резисторах подільника напруги $P_{oh.vum.}$, яка дасть змогу обчислити результат вимірювання спадів напруги на резисторах подільника напруги при імітації першого етапу пропонованого способу.

Як було вказано, на першому етапі реалізації пропонованого способу обчислюється результат вимірювання спадів напруги на резисторах подільника напруги $Rez.vum.$ як сума значень спадів напруги на резисторах подільника напруги U_{ri} та випадкової похибки вимірювання $P_{oh.vum.}$ (див. фіг. 2). На другому етапі результат вимірювання спадів напруги на резисторах подільника напруги $Rez.vum.$ приводиться до дійсного значення вихідної напруги прецизійного стабілізатора 9,9 В за формулою:

$$P_{ryved.Rez.}=(Rez.vum.)*(Sum.Rez.vum.)/(9,9V), (2)$$

де $Sum.Rez.vum.$ - сумарний результат вимірювання спадів напруги на всіх резисторах подільника напруги.

На третьому етапі обчислюється сума спадів напруги на резисторах подільника напруги за наростанням номерів резисторів $Rez.narost$, тобто, отримані при виконанні другого етапу напруги послідовно сумують. Ці напруги на четвертому етапі подають на вхід досліджуваного

вимірювального каналу і отримують результат їх вимірювання. Цей результат спотворений похибками досліджуваного вимірювального каналу. Тому на четвертому етапі спочатку у четвертій колонці задається випадкова складова похибки досліджуваного вимірювального каналу $VK_{vur.poh.}$, а потім, у п'ятій колонці - його систематична складова $VK_{sys.poh.}$. Задана випадкова складова похибки вимірювального каналу не перевищує приблизно 0,05 %, а систематична складова 0,3 %. Результати вимірювання, отримані як сума похибок і вхідної напруги (див. третій етап) поданий у шостій колонці $VK_{rez.vum.}$. На п'ятому етапі визначається отримана у результаті калібрування похибка вимірювального каналу $Poh.VK$, яка обчислюється як різниця $VK_{rez.vum.}$ та $Rez.narost$.

На шостому етапі (див. фіг. 4) проводиться апроксимація отриманої на п'ятому етапі функції похибки вимірювального каналу шляхом регресійного аналізу. У першій колонці вказано номери точок калібрування, у другій - коефіцієнти полінома корекції $Koef. Polin.$ похибки вимірювального каналу виду $y=a+bX+cX^2$, отриманого при регресії, а у третій колонці $znachennya$ - значення цих коефіцієнтів. У четвертій колонці розраховано значення отриманого полінома корекції $Polin.korrek.$, а у п'ятій колонці - значення результатів вимірювання $VK_{rez.vum.}$ (див. шосту колонку фіг. 3). У шостій колонці (див. фіг. 4) подано результат, отриманий після корекції результатів вимірювання $VK_{skorr. rezult.}$, тобто, від отриманих при виконанні четвертого етапу результатів вимірювання $VK_{rez.vum.}$ (копія шостої колонки на фіг. 3) віднято значення полінома корекції $Polin.korrek$ (четверта колонка на фіг. 4).

У сьомій колонці (див. фіг. 4) показані значення вихідної напруги спеціалізованого пристрою калібрування вимірювального каналу, обчислені при виконанні третього етапу (копія третьої колонки на фіг. 3), тобто, дійсні напруги, подані вхід вимірювального каналу. У восьмій колонці обчислена невиключена похибка корекції $Poh.korrek.$, яка обчислена як різниця результатів вимірювання, отриманих після корекції $VK_{skorr. rezult.}$ та поданих у шостій колонці результатів вимірювання $VK_{rez.vum.}$, отриманих у свою чергу при подачі на вхід вимірювального каналу напруг від пристрою калібрування вимірювального каналу.

При ідеальній корекції отримана функція похибки корекції $Poh.korrek.$ повинна відповідати нулю. Однак отримана у результаті апроксимації функція похибки $Polin.korrek.$, через дію випадкової похибки вимірювального каналу $VK_{vur.poh.}$ не може повністю відтворювати систематичну складову похибки вимірювального каналу $VK_{sys.poh.}$, задану у п'ятій колонці при виконанні четвертого етапу пропонованого способу (див. фіг. 3). Графіки отриманих похибок подані на фіг. 5. Як видно з графіків фіг. 5, отримана функція похибки корекції $Polin.korrek.$ (крива Регресія на фіг. 5) досить добре відтворює систематичну похибку вимірювального каналу $VK_{sys.poh.}$ (крива Похибка на фіг. 5), тобто, корекція при використанні пропонованого способу досить ефективна. Подана на фіг. 5 крива Невиключена похибка ("похибка від похибки"), що є різницею між кривими Регресія і Похибка, вимірювального каналу при корекції його похибки пропонованим способом показує, що у даному випадку пропонований спосіб корекції є дуже ефективним - зменшує похибку вимірювального каналу майже на порядок - подана на фіг. 5 невиключена похибка не перевищує 0,03 %.

Для прикладу на фіг. 1 було подано приклад корекції саме кривої функції похибки, яка використана як систематична складова похибки вимірювального каналу $VK_{sys.poh.}$ традиційним методом, описаним у [1]. Крива 1 на фіг. 1, відповідає систематичній складовій похибки вимірювального каналу $VK_{sys.poh.}$, пряма 2 відповідає отриманій при традиційному калібруванні функції похибки, а крива 3 відповідає похибці вимірювального каналу після корекції його похибки за результатами традиційного калібрування. Як видно з фіг. 1, традиційне калібрування при значній нелінійності функції похибки вимірювального каналу практично не зменшує похибки вимірювального каналу.

Як вже було вказано, пропонований спосіб корекції похибок вимірювального каналу дає змогу підвищити точність вимірювальних каналів без необхідності підвищення точності обладнання, яке використовується під час калібрування. Таке підвищення точності характерне для вимірювальних каналів високої точності, у яких нелінійна складова функції похибки має значення, яким не можна нехтувати. Через можливість отримати високу точність визначення похибки вимірювального каналу (див. фіг. 5) пропонований спосіб можна використати для проведення метрологічної перевірки вимірювальних каналів. Зокрема, його можна успішно використати на практиці, зокрема при експлуатації їх на об'єктах критичної інфраструктури, де метрологічна надійність вимірювальних та керуючих каналів має особливе значення.

Список посилань:

1. Земельман М.А. Точный аналого-цифровой преобразователь на грубых элементах // "Измерительная техника", 1964. - № 9.

2. Метрологічний нагляд. Матеріал з Вікіпедії - вільної енциклопедії.
https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%BD%D0%B0%D0%B3%D0%BB%D1%8F%D0%B4.

3. Пат. України № 93103. Індуктивний подільник напруги. Бутенко Олег Григорович. Опубліковано: 10.01.2011.

4. Орнатский ПП. Автоматические измерения и приборы. - К.: Вища школа, 1980. - 558 с.

5. Широтно-импульсная модуляция. Материал из Википедии - свободной энциклопедии.
https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A8%D0%B8%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BC%D0%BF%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%81%D0%BD%D0%BO%D1%8F_%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BB%D1%8F%D1%86%D0%B8%D1%8F.

6. Манганин. Материал из Википедии - свободной энциклопедии.
<https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D0%BD%D0%B3%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%BD>.

7. Пат. № 127840 Україна, МПК G01R 15/04, G01R 15/08. Спосіб точного визначення коефіцієнта поділу резисторного подільника напруги. Кочан О.В., Кочан Н.Р., Кочан Р.В. Заявка а202104329. Заявл. 26.07.2021, опубл. 17.01.2024, бюл. № 3.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб корекції похибок вимірювального каналу, що включає періодичне калібрування цього вимірювального каналу та наступну корекцію його поточних результатів вимірювання за результатами цього калібрування, який **відрізняється** тим, що процес калібрування розбивають на шість етапів: на першому етапі вимірюють та запам'ятовують спади напруги на резисторах одного номінального опору, з яких складено подільник напруги спеціалізованого пристрою калібрування вимірювального каналу; на другому етапі масштабують отримані при виконанні першого етапу спади напруги таким чином, щоб їх сума відповідала напрузі джерела напруги калібрування; на третьому етапі обчислюють і запам'ятовують суми масштабованих спадів напруги на резисторах подільника напруги за наростанням номерів резисторів; на четвертому етапі на вхід вимірювального каналу напруги з виходу спеціалізованого пристрою калібрування вимірювального каналу подають напруги за наростанням номерів резисторів і запам'ятовують результати їх вимірювання вимірюваним каналом; на п'ятому етапі від отриманих на четвертому етапі результатів вимірювання віднімають отримані на третьому етапі суми масштабованих спадів напруги на резисторах подільника напруги за наростанням відповідних номерів резисторів; на шостому етапі за допомогою регресійного аналізу апроксимують отримані на п'ятому етапі значення функції похибки вимірювального каналу; далі отриману на шостому етапі функцію використовують для корекції поточних результатів вимірювання даним вимірювальним каналом.



Фіг. 1

Pidgotovka					
R _{nom} , Ом	1000,000000		U _{et} , V	9,900000	
Dr _{max}	20,000000		I _{podil} , mA	0,990213	
U _{xT} , V	Vyp.chys.	vyp.ch.+/-	R _i , Ом	U _{ri} , mV	Poh.vym.mV
0,0	0,677466	3,549312	0,000000	0,000000	0,000000
1,0	0,591864	1,837275	1001,837275	992,031998	0,244289
2,0	0,605399	2,107974	1002,107974	992,300048	-0,197244
3,0	0,462533	-0,749346	999,250654	989,470693	-0,473158
4,0	0,403888	-1,922241	998,077759	988,309277	0,029514
5,0	0,514995	0,299896	1000,299896	990,509666	0,201404
6,0	0,541310	0,826196	1000,826196	991,030815	0,213355
7,0	0,605610	2,1122	1002,112200	992,304233	-0,472121
8,0	0,196874	-6,062525	993,937475	984,209516	0,331513
9,0	0,353538	-2,929243	997,070757	987,312132	0,077203
10,0	0,616587	2,331739	1002,331739	992,521623	-0,149761
	Sum.kolonok	1,401237	9997,851925	9900,000000	

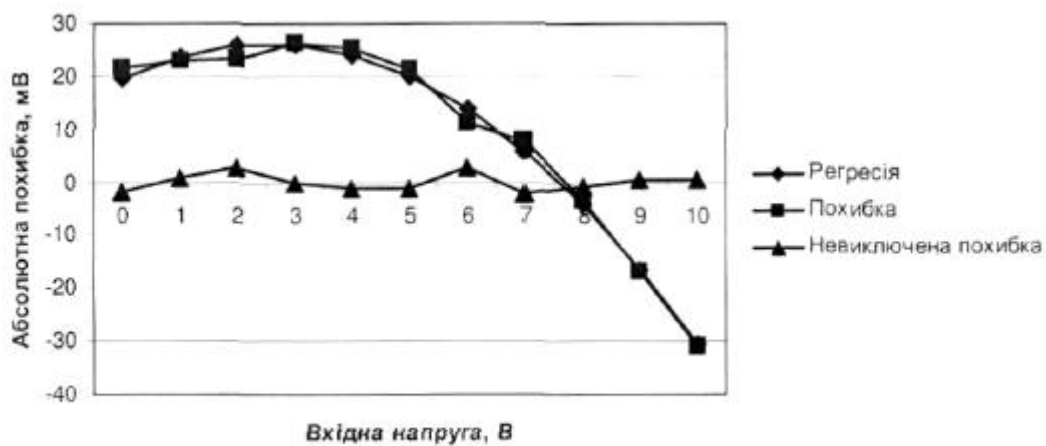
Фиг. 2

Etap 1	Etap 2	Etap 3	Etap 4			Etap5
Rez.vym.mV	Pryved.Rez.mV	Rez.narost.	VK vyp.poh.mV	VK sys.poh.mV	VK rez.vym.mV	Poh. VK, mV
0,000000	0,000000	0,000000	1,465737	20,000000	21,465737	21,465737
992,276287	992,295833	992,295833	-1,183463	24,000000	1015,112371	22,816537
992,102804	992,122346	1984,418180	-2,838951	26,000000	2007,579229	23,161049
988,997534	989,017016	2973,435195	0,177083	26,000000	2999,612278	26,177083
988,338791	988,358260	3961,793455	1,208426	24,000000	3987,001881	25,208426
990,711070	990,730585	4952,524040	1,280129	20,000000	4973,804169	21,280129
991,244170	991,263696	5943,787735	-2,832727	14,000000	5954,955008	11,167273
991,832111	991,851648	6935,639384	1,989079	6,000000	6943,628463	7,989079
984,541029	984,560422	7920,199806	0,463217	-4,000000	7916,663023	-3,536783
987,389335	987,408784	8907,608590	-0,898566	-16,000000	8890,710025	-16,898566
992,371862	992,391410	9900,000000	-1,104999	-30,000000	9868,895001	-31,104999
9899,804994	9900,000000					

Фиг. 3

Етап 6							
	Koef. Polin.	znachennya	Polin. korrek.	VK rez. vym.mV	VK skor. rezult.	Rez. narost.	Poh. korrek.
0	a=	19,616595	19,62	21,47	1,85	0,00	1,85
1	b=	5,164914	23,76	1015,11	991,35	992,30	-0,95
2	c=	-1,018514	25,87	2007,58	1981,71	1984,42	-2,71
3			25,94	2999,61	2973,67	2973,44	0,23
4			23,98	3987,00	3963,02	3961,79	1,23
5			19,98	4973,80	4953,83	4952,52	1,30
6			13,94	5954,96	5941,02	5943,79	-2,77
7			5,86	6943,63	6937,76	6935,64	2,13
8			-4,25	7916,66	7920,91	7920,20	0,71
9			-16,40	8890,71	8907,11	8907,61	-0,50
10			-30,59	9868,90	9899,48	9900,00	-0,52

Фіг. 4



Фіг. 5