

## МЕТОД КОРЕКЦІЇ ПОХИБОК ВИМІРЮВАЛЬНОГО КАНАЛУ ЦИФРОВОГО МУЛЬТИМЕТРА

У статті розглянуто метод корекції похибок вимірювального каналу цифрового мультиметра, який відрізняється автоматизованим розрахунком коригуючої поправки до результату вимірювання у вбудованому мікропроцесорі з подальшим автоматизованим введенням її значення усередненого за декількома вимірюваннями за допомогою програмованого джерела опорних напруг для виключення впливу випадкової складової похибки кожного окремого вимірювання, та забезпечує апаратну реалізацію способу корекції.

**Ключові слова:** корекція похибок вимірювань, вимірювальний канал, цифровий мультиметр, розрахунок поправки до результату вимірювань, коригуюча поправка, програмоване джерело опорних напруг.

### Постановка проблеми

Швидкий розвиток мікропроцесорної та комп'ютерної техніки відкриває нові можливості автоматизації технологічних процесів, а нові мікропроцесори з великим об'ємом пам'яті, розвиненою периферією і порівняно невеликою ціною у поєднанні з простотою застосування роблять оптимальним їх використання в автоматизованих вимірювальних комплексах (АВК).

Основними задачами при створенні сучасних АВК є: висока точність вимірювальних каналів, здатність обробляти значну кількість вхідних сигналів та висока швидкість обробки результатів вимірювань.

Поряд з тим при створенні АВК необхідно визначити найбільш ефективні варіанти використання вбудованих в засоби вимірювань мікропроцесорів і зовнішніх електронно-обчислювальних машин, однією з найважливіших функцій яких є корекція похибок вимірювальних каналів [1], при цьому актуальними постають питання виключення впливу випадкової складової похибки кожного окремого вимірювання і підвищення швидкості та точності вимірювань.

### Аналіз досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання проблеми

У [2, 3] підвищення точності вимірювань засобом вимірювання здійснюється шляхом розв'язання інтегрального рівняння з подальшим введенням отриманих розрахункових числових значень в результат вимірювання для отримання скоригованого результату вимірювання.

Недоліками даного способу корекції похибок вимірювальних каналів АВК є:

– невелика швидкодія та можливість розраховувати та вводити значення поправки тільки на частину діапазону вимірювального приладу [2];

– при порівнянні значень випадкової похибки вимірювань близької за значенням до значущих цифр результату вимірювання, застосування відомого способу корекції стає неефективним, що зумовлено припущенням про нормальний закон розподілу похибки вимірювання, яке для обмеженої кількості результатів невірне [3];

– ефективність відомих способів корекції також залежить від характеру нелінійності вимірювального датчика, з якого безпосередньо отримується аналоговий вид сигналу [4];

– основним недоліком відомих способів корекції є невелика точність вимірювання при значному рівні завади [4].

### Формулювання мети статті. Постановка завдання

В роботі поставлено завдання підвищити швидкість та точність вимірювання шляхом корекції похибок вимірювальних каналів цифрових мультиметрів і обґрунтувати новий метод розрахунку величини коригуючої поправки до результату вимірювання, який забезпечує її розрахунок на всьому діапазоні вимірювання АВК. А також підвищити точність роботи АВК в умовах завад за рахунок використання програмованого джерела опорних напруг, що забезпечує функціонування АЦП ланцюгу зворотного зв'язку мікропроцесора.

### Викладення основного матеріалу

Для вирішення поставлених в роботі завдань, зокрема для підвищення швидкодії АВК проведено аналіз можливих шляхів корекції

похибки вимірювань і розроблено метод корекції похибки вимірювань, що формує поправку до результату вимірювань у всьому діапазоні можливих значень вимірюваних параметрів на прикладі цифрового мультиметра [1].

Зокрема було розглянуто алгоритм розрахунку поправки для корекції похибки АЦП універсального цифрового мультиметра що реалізовується у два етапи.

На першому розраховуються значення поправок для кожного дискретного рівня програмованого джерела опорних напруг (ПДОН) шляхом перерахунку значення коду опорного рівня, що записаний в пам'ятовуючому пристрої мікропроцесора, із значення коду, отриманого на виході АЦП.

Для виключення впливу випадкової складової похибки поправка усереднюється по декільком вимірним значенням одного рівня ПДОН. Таким чином, в мікропроцесорі накопичуються усереднені значення поправок

$$P_i = \frac{\sum_{k=1}^N P_{ik}}{N},$$

де  $N$  – число вимірювань кожного опорного рівня;

$P_{ik} = x_i - Y_{ik}$  – поправка до  $k$ -го вимірюваного значення  $i$ -го опорного рівня;

$x_i$  –  $i$ -те значення сигналу, який подається на вхід засобу вимірювання;

$Y_{ik}$  – відповідний вихідний сигнал  $k$ -го вимірюваного значення  $i$ -го опорного рівня [1].

На другому етапі проводиться розрахунок коефіцієнтів апроксимуючої функції. Тоді при вимірюванні приладом будь-якого значення напруги, в результаті роботи алгоритму корекції, до результату буде додаватись поправка

$$P(x) = b_0 + b_1x.$$

Значення коригуючої поправки додається до значення результату вимірювання в цифровому вигляді у мікропроцесорі, який знаходиться в ланцюгу зворотного зв'язку [1].

Таким чином, результатом роботи приладу вимірювання з використанням пристрою, що пропонується, буде усереднене дійсне значення вимірювання з введеною поправкою, що підвищує точність та швидкість вимірювання за рахунок виключення розрахунку поправки до кожного результату роботи приладу.

За своєю структурою запропонований спосіб подібний до схеми побудови автоматичних систем управління із зворотним зв'язком.

На рис. 1 зображено структуру пристрою корекції похибки АЦП, де: 1 – коригований АЦП, 2 – мікропроцесор, 3 – ПДОН.

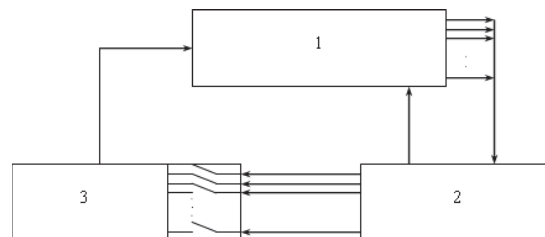


Рисунок 1 – Пристрій корекції похибки АЦП

Робота пристрою корекції похибки АЦП полягає в тому, що для кожного дискретного рівня ПДОН, шляхом розрахунку значення коду опорного рівня, що записаний в пам'ятовуючому пристрої мікропроцесора розраховується значення поправок. Коди опорних рівнів ПДОН можуть бути записані в мікропроцесорі в процесі виробництва чи при калібруванні за допомогою еталонних засобів вимірювань. Для виключення впливу випадкової складової похибки поправка усереднюється по декільком вимірним значенням одного рівня ПДОН. Таким чином, в мікропроцесорі накопичуються усереднені значення поправок [4]. Далі проводиться розрахунок коефіцієнтів апроксимуючої функції [1] та додається поправка.

### Висновок

Метод корекції похибок вимірювального каналу цифрового мультиметра, що запропонований, відрізняється від відомих тим, що втілює апаратну реалізацію способу корекції за рахунок автоматизованого розрахунку поправки до результату вимірювання у вбудованому мікропроцесорі з подальшим автоматизованим введенням її значення, усередненого за декількома вимірюваннями, за допомогою ПДОН для виключення впливу випадкової складової похибки кожного окремого вимірювання.

Застосування запропонованого методу в АВК дозволяє підвищити швидкість вимірювань за рахунок виключення операцій розрахунку поправки до результату вимірювання при кожному вимірюванні та підвищує точність роботи приладів в умовах завод за рахунок застосування ПДОН, що забезпечує функціонування АЦП в ланцюгу зворотного зв'язку мікропроцесора.

Практика експлуатації комплексів керування озброєння (ККО) підтверджує

збільшення терміну експлуатації цифрових мультиметрів до 14 – 17 років з проведенням одного капітального ремонту через 8 – 10 років експлуатації, в залежності від напрацювання. При цьому у випадку впровадження запропонованого методу, метрологічні параметри залишаються в межах допусків у 97 % випадків. В разі зміни існуючої системи метрологічного забезпечення ККО, без використання вбудованої системи корекції, метрологічні параметри мультиметрів залишаються в межах допусків у 64 % випадків.

Підтвердженням ефективності використання запропонованого методу є результати, отримані під час дослідної експлуатації ККО розвідувальних частин Сухопутних військ (акт реалізації результатів дослідження, затверджений начальником розвідувального управління Сухопутних військ від 27.02.2014 року).

#### Список використаних джерел

1. Левченко А. А. Алгоритм интегральной коррекции погрешности измерительных каналов автоматизированных измерительных комплексов / А. А. Левченко, И. В. Шарипова // Труды

**В. В. Хахула**

#### МЕТОД КОРРЕКЦИИ ОШИБОК ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ ЦИФРОВОГО МУЛЬТИМЕТРА

*В статье рассмотрен метод коррекции ошибок измерительного канала цифрового мультиметра, который отличается автоматизированным расчетом корректирующей поправки к результату измерения во встроенном микропроцессоре с последующим автоматизированным вводом ее значения, усредненного по нескольким измерениям с помощью программируемого источника опорных напряжений для исключения влияния случайной составляющей погрешности каждого отдельного измерения, и обеспечивает аппаратную реализацию способа коррекции.*

**Ключевые слова:** коррекция погрешностей измерений, измерительный канал, цифровой мультиметр, расчет поправки к результату измерений, корректирующая поправка, программируемый источник опорных напряжений.

**V. V. Khakhula**

#### METHOD OF ERROR CORRECTION OF A MEASURING CHANNEL OF A DIGITAL MULTIMETER

*The article deals with the error correction method of a measuring channel of a digital multimeter which provides a hardware implementation of the error correction method and differs by automatic calculation of corrections to measurement results in an embedded microprocessor following by the introduction of automated value of correcting amendments which averaged over several measurements using the programmable voltage source to eliminate the influence of a random component of an error of each single measurement.*

**Keywords:** correction of measurement errors, measurement channel, digital multimeter, calculation amendment to the result of measurement, adjustment correction, programmable voltage source.

Одесского национального политехнического университета. – 2006. – № 2(28). – С. 8-11.

2. Храменков Б. Н. Повышение эффективности итерационного алгоритма коррекции погрешности АЦП при наличии случайных погрешностей / Б. Н. Храменков, Т. В. Шапошникова // Метрология. – 1985. – № 6. – С. 3-5.

3. Алимов Ю. И. Альтернатива методам математической статистики / Ю. И. Алимов. – М.: Знание. – 1980. – 64 с.

4. Пат. 59399 Україна, МПК: G01R 15/00. Спосіб корекції похибок вимірювального каналу цифрового мультиметра / Левченко А. О., Кравчук О. І., Хахула В. В., Шаріпова І. В. ; заявник і власник Академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного – № заяв. у 2010 13796 ; опубл. 10.05.11, Бюл. № 9/2011.

*Надійшла до редакції 20.05.2015*

**Рецензент:** д.т.н., с.н.с. Братченко Г. Д., Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса