

УДК 681.518+621.373

С.І. КОНДРАШОВ, д-р техн. наук, проф., зав. каф., НТУ "ХПІ",
О.В. ГУСЕЛЬНИКОВ, асп., НТУ "ХПІ"

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ АВТОГЕНЕРАТОРНОГО ВИМІРЮВАЧА ВАГИ ТЕСТОВИМ МЕТОДОМ

В статті розглянуто використання тестового методу підвищення точності автогенераторного вимірювача ваги. Наведені структурна схема та алгоритм роботи вимірювача ваги. Розглянутий алгоритм реалізації тестового методу. Лл.: 1. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: тестовий метод підвищення точності, автогенераторний вимірювач ваги.

Постановка проблеми та аналіз літератури: Широке використання вимірювачів ваги у промисловості, побуті, медицині [1] висуває підвищені вимоги до їх вартісних, експлуатаційних та метрологічних характеристик [2, 3]. При цьому вихідний сигнал таких приладів в багатьох випадках необхідно отримати в цифровій формі для можливості його передачі і подальшої обробки на ЕОМ [4]. Відомі на сьогодні високоточні вимірювачі ваги мають такі недоліки як: висока вартість та складність конструкції.

Одним з ефективних варіантів підвищення точності є тестові методи [5, 6], але їх використання без значного ускладнення конструкції та алгоритму роботи вимірювача можливо за умови лінійного зв'язку між вимірювальною величиною та вихідним сигналом приладу.

Мета статті – підвищення точності автогенераторного вимірювача ваги без значного ускладнення його конструкції та алгоритму роботи за допомогою тестового методу.

Автогенераторний вимірювач ваги. Розроблено автогенераторний вимірювач ваги (ВВ) [7, 8, 9], що має лінійну характеристику перетворення. Вимірювач, структурна схема якого наведена на рис. 1, складається з: автогенераторного датчика АГД, мікроконтролера (МК), відлікового пристрою (ВП). АГД включає в себе два ідентичні канали: вимірювальний та компенсаційний. Вимірювальний канал складається з чутливого елемента (ЧЕ1) – балки рівного перетину, яка в свою чергу є частиною ємнісного первинного перетворювача (ПП1), що включений у LC-контур автогенератора АГ1. Компенсаційний канал складається з

ідентичних ємнісного перетворювача (ПП2) та автогенератора АГ2.

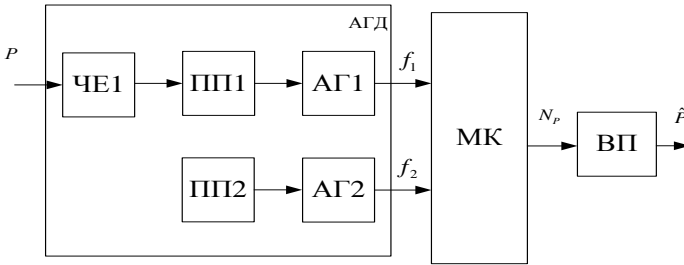


Рис. 1. Структурна схема автогенераторного вимірювача ваги

Вимірювач працює наступним чином: при відсутності на вході ВВ вимірювальної величини ($P = 0$) АГД виробляє однакові вихідні частотні сигнали

$$f_1 = f_2 = f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_0}}. \quad (1)$$

Зміна вхідного сигналу ($P \neq 0$) викликає зміну положення ЧЕ1, а отже і зміну ємності C_0 ПП1 на ΔC , та відповідно зміну вихідного частотного сигналу вимірювального каналу АГД:

$$\begin{cases} f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C_0 + \Delta C)}} = f_0(1 + KP)^{-0.5}, \\ f_2 = f_0, \end{cases} \quad (2)$$

де $K = \frac{\Delta\tilde{N}}{\tilde{N}_0P}$ – сумарний коефіцієнт перетворення ЧЕ1 та ПП1.

Далі вихідні сигнали f_1 і f_2 вимірювального АГ1 і опорного АГ2 автогенераторів подаються на перший та другий частотні входи МК [10], де формується інтервал часу τ_1 , що заповнюється імпульсами з частотою f_1 , отриманою від опорного генератора, до досягнення, заздалегідь встановленого в пам'яті МК, числа N_0 , далі за сформований інтервал часу τ_1 підраховується кількість імпульсів, що надіслані на вхід 2 МК з частотою f_2

$$N_1 = \tau_1 f_2 = N_0 f_1^{-1} f_2, \quad (3)$$

Число імпульсів N_1 зберігається у пам'яті МК, після чого формується часовий інтервал τ_2 , який заповнюється імпульсами з частотою f_1 до досягнення збереженого у пам'яті МК значення N_1

$$\tau_2 = N_1 f_1^{-1} = N_0 f_1^{-2} f_2. \quad (4)$$

Часовий інтервал τ_2 зберігається у пам'яті МК, після чого підраховується кількість імпульсів N_2 , що надіслані на 1-й вхід МК з частотою f_2 за інтервал часу τ_2 :

$$N_2 = \tau_2 f_2 = N_0 f_1^{-2} f_2^2. \quad (5)$$

Число імпульсів N_2 зберігається у пам'яті МК.

Далі в блоці обчислення МК виконується формування вихідного сигналу датчика у вигляді числового коду N_P , що лінійно залежить від вимірювальної ваги P наступним чином:

$$N_P = N_2 - N_0 = N_0 f_1^{-2} f_2^2 - N_0 = N_0 \left(f_0^2 (f_0 (1 + KP)^{-0.5})^{-2} - 1 \right) = N_0 KP. \quad (6)$$

Тестовий метод підвищення точності. Експериментальні дослідження показали, що результуюча похибка ВВ має значимі адитивні ($\Delta_{\Sigma A}$) і мультиплікативні ($\delta_{\Sigma M}$) складові, для зменшення яких використаний тестовий метод.

Алгоритм тестового методу наступний: при дії вимірюваної ваги P на ЧЕ формується вихідний сигнал ВВ у вигляді числового коду

$$N_1 = KP(1 + \delta_{\Sigma M}) + \Delta_{\Sigma A}. \quad (7)$$

Цей сигнал зберігається в пам'яті МК. Далі до вимірюваної ваги P , додається вага еталонної гирі ΔP та формується вихідний сигнал ВВ (адитивний тест)

$$N_2 = K(P + \Delta P)(1 + \delta_{\Sigma M}) + \Delta_{\Sigma A}. \quad (8)$$

Після цього чутливість ВВ змінюється в A разів і формується вихідний сигнал (мультиплікативний тест)

$$N_3 = AKP(1 + \delta_{\Sigma M}) + \Delta_{\Sigma A}. \quad (9)$$

Сформовані сигнали зберігаються в пам'яті МК.

За результатами проведених вимірювань в МК складається та вирішується система з трьох рівнянь:

$$\begin{cases} N_1 = KP(1 + \delta_{\Sigma M}) + \Delta_{\Sigma a}, \\ N_2 = K(P + \Delta P)(1 + \delta_{\Sigma M}) + \Delta_{\Sigma a}, \\ N_3 = AKP(1 + \delta_{\Sigma M}) + \Delta_{\Sigma a}. \end{cases} \quad (10)$$

Рішення цієї системи рівнянь дозволяє виразити результат вимірювання як

$$P = \frac{N_3 - N_1}{N_2 - N_1} \frac{\Delta P}{A - 1}. \quad (11)$$

Як видно з останнього рівняння застосування сумісного (адитивного і мультиплікативного) тестового методу дозволяє зменшити адитивні і мультиплікативні складові похибки до незначних величин. Похибка результату в основному визначається похибкою тестових сигналів, значення якої набагато менше результуючої похибки вимірювача ваги до застосування тестів.

Висновки. Розроблений ВВ, до застосування тестового методу, в діапазоні $(0,01 \div 0,1)$ Н мав похибку вимірювання 2%. Застосування тестового методу зменшило результуючу похибку ВВ до 1%.

Список літератури: 1. *Туричин А.М.* Электрические измерения неэлектрических величин. Изд. 5-е, перераб. и доп. / *А.М. Туричин, П.В. Новицкий.* – Л.: "Энергия", 1975. – 576 с. 2. *Левшина Е.С.* Электрические измерения физических величин: (Измерительные преобразователи): учеб. пособие для ВУЗов. / *Е.С. Левшина, П.В. Новицкий.* – "Энергоатомиздат". Ленингр. отд-ние, 1983. – 320 с. 3. *Евтихеев Н.Н.* Измерение электрических и неэлектрических величин: учеб. пособие для ВУЗов / *Н.Н. Евтихеев, Я.А. Купершмидт, В.Ф. Папуловский, В.Н. Скугоров* // Под ред. Н.Н. Евтихеева. – М.: "Энергоатомиздат", 1990. – 352 с. 4. *Новицкий П.В.* Цифровые приборы с частотными датчиками / *П.В. Новицкий, В.Г. Кнорринг, В.С. Гутников.* – Л.: "Энергия", 1970. – 424 с. 5. *Бромберг Э.М.* Тестовые методы повышения точности измерений / *Э.М. Бромберг, К.Л. Куликовский.* – М.: "Энергия", 1978. – 176 с. 6. *Кондрашов С.И.* Методи підвищення точності систем тестових випробувань електричних вимірювальних перетворювачів у робочих режимах. Монографія / *С.И. Кондрашов.* – Харків: НТУ "ХПИ", 2004. – 224 с. 7. Пат. 59973 UA. Автогенераторний вимірювач фізичних величин / *О.В. Гусельников*; заявник і патентовласник О.В. Гусельников (UA), опубл. 10.06.2011. 8. *Кондрашов С.И.* Метод построения универсальных преобразователей физических величин с частотным представлением измерительной информации / *С.И. Кондрашов, О.В. Гусельников* // Украинский метрологический журнал. – 2011. – № 2. – С. 55-58. 9. *Кондрашов С.И.* Автогенераторний перетворювач фізичних величин / *С.И. Кондрашов, О.В. Гусельников* // Метрологія та вимірювальна техніка (метрологія 2010): 7 Міжнар. науково-техн. конф. 12-14 жовт. 2010 р.: тез. допов. / ННЦ "Ин-т Метрології". – Харків, 2010. – Т. 2. – С. 337-340. 10. *Штак Ю.А.* Программирование на языке С для AVR и PIC микроконтроллеров / *Ю.А. Штак.* – К.: "МК-Пресс", 2006. – 400 с.

Bibliography (transliterated): 1. *Turichin A.M.* Jeletricheskie izmerenija nejelektricheskikh velichin. Izd. 5-e, pererab. i dop. / *A.M. Turichin, P.V. Novickij.* – L.: "Jenergija", 1975. – 576 s. 2. *Levshina E.S.* Jeletricheskie izmerenija fizicheskikh velichin: (Izmeritel'nye preobrazovateli): ucheb. posobie dlja VUZov / *E.S. Levshina, P.V. Novickij.* – "Jergoatomizdat". Leningr. otd-nie, 1983. – 320 s. 3. *Evtiheev N.N.* Izmerenie jeletricheskikh i nejelektricheskikh velichin: ucheb. posobie dlja VUZov / *N.N. Evtiheev, Ja.A. Kupershmidi, V.F. Papulovskij, V.N. Skugorov* // Pod red. N.N. Evtiheeva. – M.: "Jergoatomizdat", 1990. – 352 s. 4. *Novickij P.V.* Cifrovye pribory s chastotnymi datchikami / *P.V. Novickij, V.G. Knorring, V.S. Gutnikov.* – L.: "Jenergija", 1970. – 424 s. 5. *Bromberg Je.M.* Testovye metody povyshenija tochnosti izmerenij / *Je.M. Bromberg, K.L. Kulikovskij.* – M.: "Jenergija", 1978. – 176 s. 6. *Kondrashov S.I.* Metodi pidvishhennja tochnosti sistem testovih viprobuvan' elektrichnih vimirjuval'nih peretvorjuvachiv u robochih rezhimah. Monografija / *S.I. Kondrashov.* – Harkiv: NTU "HPI", 2004. – 224 s. 7. Pat. 59973 UA. Avtogenerornij vimirjuvach fizichnih velichin / *O.V. Gusel'nikov*; zajavnik i patentovlasnik O.V. Gusel'nikov (UA), opubl. 10.06.2011. 8. *Kondrashov C.I.* Metod postroenija universal'nyh preobrazovatelej fizicheskikh velichin s chastotnym predstavleniem izmeritel'noj informacii / *C.I. Kondrashov, O.V. Gusel'nikov* // Ukrainskij metrologicheskij zhurnal. – 2011. – № 2. – S. 55-58. 9. *Kondrashov S.I.* Avtogenerornij peretvorjuvach fizichnih velichin / *S.I. Kondrashov, O.V. Gusel'nikov* // Metrologija ta vimirjuval'na tehnika (metrologija 2010): 7 Mizhnar. naukovotehn. konf, 12-14 zhovt. 2010 r.: tez. dopov./ NNC "In-t Metrologii". – Harkiv., 2010. – T. 2. – S. 337-340. 10. *Shpak Ju.A.* Programmirovanie na jazyke C dlja AVR i PIC mikrokontrollerov / *Ju.A. Shpak.* – K.: "MK- Press", 2006. – 400 s.

Надійшла (received) 14.11.2014

Статью представил д-р техн. наук, проф. НТУ "ХПИ" Горкунов Б.М.

Kondrashov Sergey, Dr.Sci.Tech, Professor
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"
Str. Frunze, 21, Kharkov, Ukraine, 61002
Tel.: (057)-707-00-00, e-mail: Palagin@khpi.kharkov.ua
ORCID ID: 0000-0002-5191-8562

Gusel'nikov Oleksii, master, graduate student
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"
Str. Frunze, 21, Kharkov, Ukraine, 61002
Tel.: (097)-737-26-06, e-mail: alex-gv88@rambler.ua
ORCID ID: 0000-0003-4789-7671