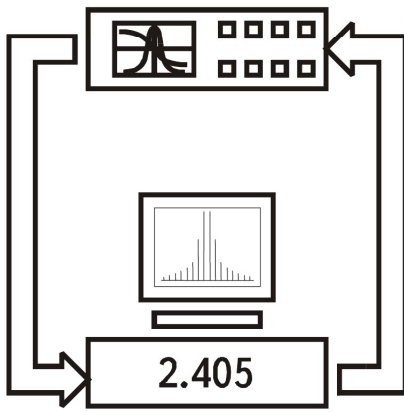
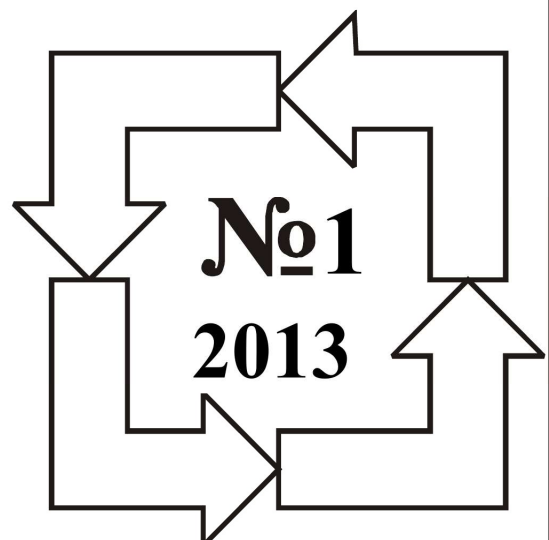


ISSN 2219-9365



*МІЖНАРОДНИЙ
НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ
ЖУРНАЛ*

**ВИМІРЮВАЛЬНА
ТА
ОБЧИСЛЮВАЛЬНА
ТЕХНІКА
В
ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ПРОЦЕСАХ**



ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ

Міжнародний науково-технічний журнал

Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах

Заснований в травні 1997 р.

Виходить 2 рази на рік

Хмельницький, 2013, №1 (42)

Рекомендовано до друку рішенням вченої ради
Хмельницького національного університету, протокол № 8 від 27.03.2013 р.

Засновники:

**Хмельницький національний університет
Українська технологічна академія (м. Київ)
Видавець: Хмельницький національний університет**

Затверджений як фахове видання
Постановою президії ВАК України від 10.02.2010 № 1-05/1
(http://vak.org.ua/docs/prof_journals/journal_list/whole.pdf)

Головний редактор д.т.н., проф. І.В. Троцишин

Редакційна колегія:

І.Л.Афонін (Україна, Севастополь), **В.І.Водотовка** (Україна, Київ), **Г.Ф.Гордієнко** (Україна, Хмельницький), **В.Б.Дудикевич** (Україна, Львів), **Ж.Е.Желкобаев** (Росія, Москва), **С.М.Злепко** (Україна, Вінниця), **Г.С.Калда** (Україна, Хмельницький), **В.Г.Камбург** (Росія, Пенза,), **В.Г.Каплун** (Україна, Хмельницький), **С.А.Кравченко** (Росія, Санкт-Петербург), **В.П.Кожем'яко** (Україна, Вінниця), **В.М.Кичак** (Україна, Вінниця), **В.Т.Кондратов** (Україна, Київ), **В.Д.Косенков** (Україна, Хмельницький), **І.В.Кузьмін** (Україна, Вінниця), **Я.І.Лепіх** (Україна, Одеса), **А.О.Мельник** (Україна, Львів), **Ю.Ф.Павленко** (Україна, Харків), **О.М.Петренко** (Англія, Лоднон), **М.Б. Проценко** (Україна, Одеса), **О.П. Пунченко** (Україна, Одеса), **В.П.Ройзман** (Україна, Хмельницький), **О.П.Ротштейн** (Ізраїль, Єрусалим), **В.П.Тарасенко** (Україна, Київ), **Ю.О.Скрипник** (Україна, Київ, голова редакційної колегії), **М.М.Сурду** (Україна, Київ), **П.М.Сопрунюк** (Україна, Львів), **О.П.Стахов** (Канада), **Й.І.Стенцель** (Україна, Северодонецьк), **М.А. Філінюк** (Україна, Вінниця), **О.Б.Шарпан** (Україна, Київ).

Відповідальний секретар **І.В. Троцишин**

Технічний редактор **К.Л. Горященко**

Редактор-коректор **К.Л. Горященко**

Адреса редакції: редакція журналу "Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах", (кімн. 4-331), Хмельницький національний університет, вул. Інститутська 11, м. Хмельницький, 29016, Україна, **тел:** (0382) 72-88-74.

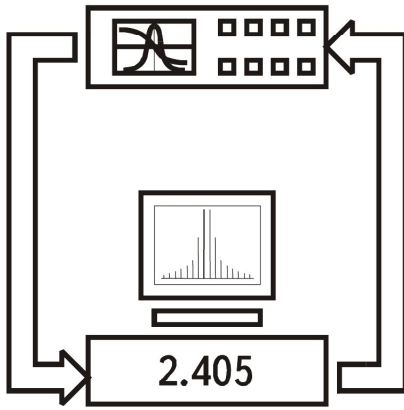
E-mail: vottp.tiv@gmail.com

web: <http://fetronics.ho.com.ua>

Зареєстровано Міністерством юстиції України
Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
Серія КВ №16040-4512ПР від 16 грудня 2009 року.

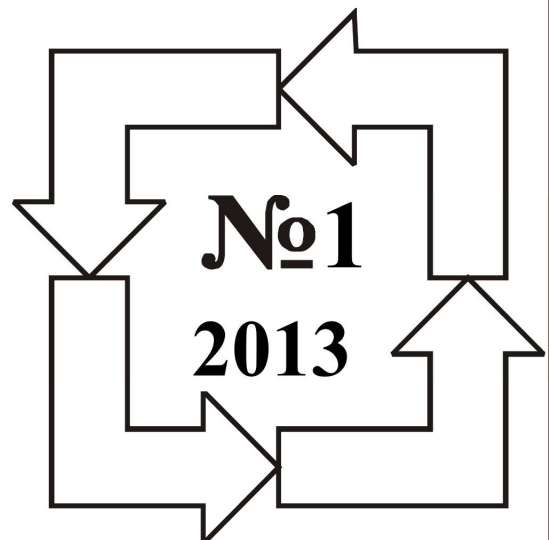
© Хмельницький національний університет, 2013
© Редакція "Вимірювальна та обчислювальна
техніка в технологічних процесах", 2013

ISSN 2219-9365



*INTERNATIONAL
SCIENTIFIC-TECHNICAL
MAGAZINE*

**MEASURING
AND
COMPUTING
DEVICES
IN
TECHNOLOGICAL
PROCESSES**



KHMELNITSKY

International scientific-technical magazine

Measuring and Computing Devices in Technological Processes

Founded in 1997 May

Published 2 times in a year

Khmelnitsky, 2013, №1 (42)

**Is advised for printing by solution of scientific council
Khmelnitsky national university, protocol № 8 from 27.03.2013**

Founders:

**Khmelnitsky national university
Ukrainian Technological Academy (Kyiv city)
Publisher: Khmelnitsky national university**

Chief Editor Ivan V. Trotsishin

Editorial board:

I.L.Afonin (Ukraine, Sevastopol), **V.I.Vodotovka** (Ukraine, Kyiv), **G.F.Gordienko** (Ukraine, Khmelnitsky), **V.B.Dudikevich** (Ukraine, Lviv), **Z.E.Zhelkobaev** (Russia, Moskau), **S.M.Zlepko** (Ukraine, Vinnitsa), **G.S.Kalda** (Ukraine, Khmelnitsky), **V.G.Kamburg** (Russia, Penza), **V.G.Kaplun** (Ukraine, Khmelnitsky), **S.A.Kravchenko** (Russia, St.Petersburg), **V.P.Kojemiako** (Ukraine, Vinnitsa), **V.M.Kytshak** (Ukraine, Vinnitsa), **V.T.Kondratov** (Ukraine, Kyiv), **V.D.Kosenkov** (Ukraine, Khmelnitsky), **I.V.Kuzmin** (Ukraine, Vinnitsa), **Y.I.Lepikh** (Ukraine, Odessa), **A.O.Melnik** (Ukraine, Lviv), **J.F.Pavlenko** (Ukraine, Kharkiv), **O.M.Petrenko** (England, London), **M.B. Protsenko** (Ukraine, Odessa), **O.P. Punthenko** (Ukraine, Odessa), **V.P.Roizman** (Ukraine, Khmelnitsky), **A.P.Rotshtein** (Israel, Jerusalem), **V.P.Tarasenko** (Ukraine, Kyiv), **J.O.Skripnik** (Ukraine, Kyiv, editor-in-chief of editorial board), **M.M.Surdu** (Ukraine, Kyiv), **P.M.Sopruniuk** (Ukraine, Lviv), **O.P.Stakhov** (Canada), **J.I.Stencel** (Ukraine, Severodonetsk), **M.A.Filiniuk** (Ukraine, Vinnitsa), **O.B.Sharpan** (Ukraine, Kyiv).

Responsible secretary **I.V. Trotsishin**

Technical editor **K.L. Horiashchenko**

Editor-corrector **K.L. Horiashchenko**

Address of editorial office: 11 Institutaska str., Khmelnitsky, 29016, Ukraine, Khmelnitsky national university, editorial office of magazine "Measuring and Computing Devices in Technological Processes", (4-331 room), **phone:** (0382) 72-88-74.

E-mail: vottp.tiv@gmail.com

web: <http://fetronics.ho.com.ua>

Subscribed by Ministry of Justice of Ukraine
Certificate about governmental registration of publishing means of mass information
Series "KV" №16040-4512PR, December, 16, 2009.

© Khmelnitsky national university, 2013
© Magazine "Measuring and Computing
Devices in Technological Processes", 2013

ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ МЕТРОЛОГІЇ, ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

А.П. СТАХОВ. МАТЕМАТИКА ГАРМОНІЙ. ОТ ЕВКЛИДА К СОВРЕМЕННОЙ МАТЕМАТИКЕ И КОМПЬЮТЕРНОЙ НАУКЕ. ЧАСТЬ 1. ИСТОРИЯ «МАТЕМАТИКИ ГАРМОНИИ» ОТ ЕВКЛИДА ДО СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ	7
С.А. КРАВЧЕНКО, В.П. ПИАСТРО, А.Н. ПРОНИН. ПРЕОБРАЗОВАНИЯ МЕЖДУНАРОДНОЙ СИСТЕМЫ SI (СИ) В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА И МАГНЕТИЗМА В ХХІ ВЕКЕ.	16
О.І. ПОЛІКАРОВСЬКИХ. ЗАСТОСУВАННЯ НОВОГО ТЕОРЕТИКО-ЧИСЛОВОГО БАЗИСУ ДЛЯ ПОБУДОВИ ВИСОКОШВИДКІСНИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИНТЕЗАТОРІВ ЧАСТОТИ (DDS)	20
І.В. ТРОЦИШИН. КВАНТОВА ТЕОРІЯ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ: ПРИНЦИПИ ТА МЕТОДОЛОГІЯ, НА ШЛЯХУ ВІД ЧАСТОТОМРА КОІНЦИДЕНЦІЇ ДО АТЕНЮАТОРА-ПОДІЛЬНИКА ТРОЦИШИНА	27

ОПТИЧНІ ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ

А.Н. МИКОЛУШКО. РАДИОЛОКАЦИОННОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ОБЛАКОВ ВУЛКАНИЧЕСКОГО ПЕПЛА ...	38
О.І. ОСМОЛОВСЬКИЙ. ПОБУДОВА ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА КЕРУЮЧИХ СИГНАЛІВ КОМПЕНСАЦІЙНОГО ОПТИЧНОГО КООРДИНАТОРА	41
В.Н. ОВЧАРУК. ПРОГРАММНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС АКУСТИКО-ЭМИССИОННОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ	45
О.В. ОСАДЧУК, С.В. БАРАБАН, А.О. СЕМЕНОВ. ЗАСІБ НЕРУЙНЛИВОГО КОНТРОЛЮ СТРУКТУРНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ ТВЕРДОФАЗНИХ СИСТЕМ	53
О.В. БОЙКО, О.П. ЧАБАН, Р.О. МАТВІЙ, В.Р. КУЦЬ. ТЕРМОРЕЗИСТИВНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ З АНАЛОГОВОЮ ЛІНЕАРИЗАЦІЄЮ	57
Ю.С. ВЛАСЕНКО, В.Г. КОЛОБРОДОВ. МЕТОД ПОСЛІДОВНОЇ ІТЕРАЦІЇ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ ДИФРАКЦІЙНИХ ОПТИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ	63
І.В. ГОЛЮК, В.Г. КОЛОБРОДОВ, Є.Г. БАЛІНСЬКИЙ. ПРОЕКТУВАННЯ ПЛАСТИКОВИХ ЛІНЗ ФРЕНЕЛЯ ЗІ СФЕРИЧНИМ ПРОФІЛЕМ	66
О.К. КУЧЕРЕНКО, Д.А. ОСТАПЕНКО. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ РАДИАЦИОННОГО ПИРОМЕТРА	70
Л.А. МИХЕЕНКО, Т.А. ГРИШКО, Т.В. КОТЛЯРЕНКО. ДИФУЗНЫЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬ ПЕРЕМЕННОЙ ЯРКОСТИ НА БАЗЕ МАТРИЦЫ СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ ДИОДОВ С РАССЕИВАТЕЛЕМ	74
М.Г. ЛУЦЬКИЙ. МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ЛІНІЙНО-КУТОВИХ ВЕЛИЧИН ...	81

ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ ТА РАДІОТЕХНІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ

В.Б. БАЛЯР. ОЦІНКА ТЕХНІЧНОЇ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ DVB-T2 НА РІВНІ ПОТОКУ MPEG-2 TS	85
М.Й. БУРБЕЛО, С.М. МЕЛЬНИЧУК, В.О. КОШКАЛДА, М.М. ВЕНГЕР. СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ШВИДКОЗМІННИХ ТРИФАЗНИХ НЕСИМЕТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ	90
В. Н. ОВЧАРУК, ЦИНЬ ХУНУ. ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛИНЕЙНО ПРОТЯЖЕННЫХ ОБЪЕКТОВ МЕТОДАМИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ	93
К.О. КОВАЛЬ, П.О. ГАВРАСИЄНКО, А.О. ГАВРАСИЄНКО. ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ЄМНОСТІ ТА ІНДУКТИВНОСТІ	99
Г.Г. БОРТНИК, М.В. ВАСИЛЬКІВСЬКИЙ, О.В. СТАЛЬЧЕНКО. ПРИСТРІЙ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ВИСОКОЧАСТОТНИХ СИГНАЛІВ	102
І.В. БАЛЪЗАН. МІКРОПРОЦЕСОРНИЙ ЗАСІБ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ЗАКОНУ РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ ЗА ДОПОМОГОЮ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА З ПРИСТРОЄМ РЕГУЛЮВАННЯ ПІД НАВАНТАЖЕННЯМ	106
О.В. ХОМЯК. ВПЛИВ АТМОСФЕРНИХ ГАЗІВ НА ПОШИРЕННЯ РАДІОСИГНАЛУ	109
В.Д. КОСЕНКОВ, Л.В. СКУБІЙ. ДО ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СИЛИ ЛІНІЙНОЇ МАШИНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З ПОСЛАБЛЕНОЮ РЕАКЦІЄЮ ЯКОРЯ	114
Н.І. ТРОЦИШИНА, І.В. ТРОЦИШИН. АТЕНЮАТОР-ПОДІЛЬНИК ТРОЦИШИНА ЯК БАЗОВИЙ ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ ЕЛЕМЕНТ НОВИХ ПРИНЦИПІВ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ЦАП-АЦП.....	118

ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ І КОМПЛЕКСИ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ

О.К. КОЛЕСНИЦЬКИЙ, Є.О. ГОРДИШЕВСЬКА, С.І. ЛУКАШ. КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МЕТОДУ РОЗПІЗНАВАННЯ СИГНАЛІВ МУЛЬТИСЕНСОРІВ ГАЗІВ НА ОСНОВІ ІМПУЛЬСНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ	121
О.Н. РОМАНЮК, К.В. ОГОРОДНИК, В.В. МАРТИНЮК. СИСТЕМА СТЕГАНОГРАФІЧНОГО ЗАХИСТУ ПОВІДОМЛЕНЬ	126
М.А. ТИМОФЕЕВА, Т.С. ПРЫТ. КОМП'ЮТЕРИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОБУЧЕНИЯ ОБХОДА ТРАЕКТОРИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОМ РОБОТОМ	130
І.В. МУЛЯР, А.В. ДЖУЛІЙ, М.В. КОСТЮК. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ОБРОБКИ ДАНИХ	133

З.І. ДОМБРОВСЬКИЙ, А.М. БОРОВИЙ, В.В. КОЧАН. КОМП'ЮТЕРНА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ ОЦІНКИ СТРУМУ СПОЖИВАННЯ МІКРОПРОЦЕСОРІВ ПРИ ВИКОНАННІ ІНСТРУКЦІЙ	138
О.А. МЯСІЩЕВ. ПРО МОЖЛИВІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ СЕРЕДОВИЩА РОЗРОБКИ ARDUINO ДЛЯ СТВОРЕННЯ WEB - СЕРВЕРА НА БАЗІ АТМЕГА32	143
О.В. ОГНЄВИЙ, О.О. КОБЛЕНЄВ. ОСОБЛИВОСТІ АРХІТЕКТУРИ ПРОЦЕСОРІВ ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ ПРИ РОЗВ'ЯЗУВАННІ ЗАДАЧ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ	150
Н.Г. ШИРМОВСЬКАЯ. КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА ДІАГНОСТИВАННЯ КВАЗИСТАЦИОНАРНИХ ОБ'ЄКТОВ НА ОСНОВЕ КЛАСТЕРНИХ МОДЕЛЕЙ	155
В.П. РОЙЗМАН, О.О. МУЗИКА. АНАЛІЗ СТІЙКОСТІ АДАПТИВНОГО ФІЛЬТРА ЗА НАЯВНОСТІ АПАРАТНИХ ЗБОЇВ В ОБЧИСЛЮВАЛЬНОМУ ПРИСТРОЇ	160
В.П. КВАСНІКОВ, Д.П. ОРНАТСЬКИЙ, І.В. ГАВРИЛОВ, Т.П. НІЧКОВА. СПОСОБИ ПОБУДОВИ АНАЛОГОВИХ ІНТЕРФЕЙСІВ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ МЕХАНІЧНИХ ВЕЛИЧИН..	164

БІОМЕДИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ І ТЕХНОЛОГІЇ

В.А. РОМАНОВ, В.Т. КОНДРАТОВ, Ю.А. БРАЙКО, А.В. МИЛЬЧЕНКО, Р.Г. ИМАМУТДИНОВА. ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ХЛОРОФИЛЛА В ЛИСТЬЯХ РАСТЕНИЙ	170
А. П. МОТОРНИЙ, С. М. ЗЛЕПКО, Л. Г. КОВАЛЬ, С. В. КОСТШИН, С. В. ТИМЧИК. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ГНУЧКОСТІ ТА АДАПТИВНОСТІ ІНТЕГРОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ САНАТОРІЄМ	177
Л.Г. КОВАЛЬ, С.М. ЗЛЕПКО, С.В. ТИМЧИК, М.В. МОСКОВКО. ПСИХОФІЗІОЛОГІЧНА НАДІЙНІСТЬ ОПЕРАТОРІВ БІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ	183
В. М. ГОЛОВНЯ, М. Ф. БОГОМОЛОВ, С. М. ЗЛЕПКО. ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЕРИТРОЦИТА ЯК ОБ'ЄКТА ВИМІРЮВАНЬ	186

ОБМІН ПРАКТИЧНИМ ДОСВІДОМ ТА ТЕХНОЛОГІЯМИ

В.М. ДЖУЛІЙ, С.Р. КРАСИЛЬНИКОВ, І.В. ВЛАСЮК. ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В СИСТЕМІ НАВЧАННЯ В ВИЩИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ	191
Г.М. КЛЕЩЁВ. АСПЕКТЫ ТЕОРИИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ В НОВОЙ СКВОЗНОЙ ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ШТАМПОВОГО ИНСТРУМЕНТА	195
Є.Б. КУЛІШ, А.Г. ЛОЖКОВСЬКИЙ, В.В. КИЧАК. ВИКОРИСТАННЯ АДАПТИВНОЇ ДИНАМІЧНОЇ МАРШРУТИЗАЦІЇ НА МУЛЬТИСЕРВІСНИХ МЕРЕЖАХ ЗВ'ЯЗКУ	198
Д. В. МИХАЛЕВСЬКИЙ, Є. С. НАУГОЛЬНИХ, В. М. МЕЛЬНИК. ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ ВІДЕОЗОБРАЖЕННЯ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ	201
Б.Б. КАПОЧКИН, Е.А. СОРОЧИНСКАЯ, Н.В. КУЧЕРЕНКО. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЗЗ ДЛЯ ПРОГНОЗА СУРОВЫХ ЗИМ С УЧЕТОМ ГЕОТЕРМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ	205
С.И. ВЯТКИН, А.Н. РОМАНЮК, М.П. ПОДДУБЕЦКАЯ АНИМАЦИЯ ТРЕХМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ.....	207
В.В. ЛЮБЧЕНКО, В.П. КВАСНІКОВ. АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ РОЗРАХУНКУ НОРМАЛІЗУЮЧОЇ КОНСТАНТИ	211
О.Ю. ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ, Ю.В. ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ. ЦІЛІСНІСТЬ ТА КОНФІДЕНЦІЙНІСТЬ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ У МЕРЕЖАХ	214
Є.С. ГРИЦАЮК, В.М. ЧЕШУН. ПРОБЛЕМНІ АСПЕКТИ АВТОМАТИЗАЦІЇ В ПІДВИЩЕННІ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ КЛІЄНТ-БАНК	217
В.И. СОЛОДКАЯ. АНАЛІЗ СЕТОЧНЫХ МЕТОДОВ ПОСТРОЕНИЕ ОБЪЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ ЗАДАЧ ТРИАНГУЛЯЦИИ.....	222
Н.В. ЗАХАРЧЕНКО, Д.Н. БЕКТУРЕДИНОВ, Е.А. СЕВАСТЕЕВ, С.И. ЛЫСЕНКО. О ВЕСЕ ВЕКТОРА ТАЙМЕРНОГО КОДА, УДОВЛЕТВОРЯЮЩЕГО УСЛОВИЮ КАЧЕСТВА $\sum_{i=1}^n A_i x_i = 0 \text{ mod } A_0$	226
О.О. САВЧЕНКО, Л.В. КАРПОВА, П.В. БИШАРЄВ. АНАЛІЗ ПРИНЦИПІВ ПОБУДОВИ ЦИФРОВИХ СИСТЕМ ФАЗОВОЇ СИНХРОНІЗАЦІЇ В КАНАЛАХ РАДІО ЗВ'ЯЗКУ	232
В.П. РОЙЗМАН, І.І. ЧЕСАНОВСЬКИЙ, М.М. ЩЕЦЯК. ПІДВИЩЕННЯ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЦИФРОВИХ ФІЛЬТРІВ НА ОСНОВІ БАГАТОКАНАЛЬНИХ МЕТОДІВ ЦИФРОВОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ	235

ПРЕЦИЗІЙНІ ВИМІРЮВАННЯ ТА НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ

С.І. БІЛОУСОВ. РЕГІОНАЛЬНІ АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ОПОВІЩЕННЯ. ЧАСТИНА ІІ. ФУНКЦІОНАЛЬНА СТРУКТУРА ТА АНАЛІЗ СУЧАСНИХ РЕГІОНАЛЬНИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ОПОВІЩЕННЯ	238
Є.О. МАРЦЕНЮК. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПАРАМЕТРИЧНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ДИСКРЕТНИХ МОДЕЛЕЙ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ З ІНТЕРВАЛЬНОЮ НЕВИЗНАЧЕНІСТЮ	242
В. П. ХАРЧЕНКО, В. А. ШВЕЦЬ. ЗАСТОСУВАННЯ ТРИКУТНОЇ СХЕМИ РОЗТАШУВАННЯ ВИПРОМІНЮВАЧІВ В ВИМІРЮВАЛЬНИХ АНТЕННИХ РЕШІТКАХ СУПУТНИКОВИХ АЕРОНАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ.....	252
І.І. ЧЕСАНОВСЬКИЙ, М.О. ЛАНТВОЙТ, О.С.ГОЛЕЦЬ. ЗАСТОСУВАННЯ МЕТАМАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ АНТЕН В РАДІОЕЛЕКТРОННІЙ АПАРАТУРІ	258

УДК 621.7

В.П. КВАСНИКОВ, Д.П. ОРНАТСЬКИЙ, І.В. ГАВРИЛОВ, Т.П. НІЧІКОВА

Національний авіаційний університет, Київ
dp.ornatsky@gmail.com, ivgavrylov@gmail.com, tnichikova@gmail.com

СПОСОБИ ПОБУДОВИ АНАЛОГОВИХ ІНТЕРФЕЙСІВ ІНФОРМАЦІЙНО-ВІМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ МЕХАНІЧНИХ ВЕЛИЧИН

В даній статті проаналізовані сучасні способи побудови аналогових інтерфейсів інформаційно-вимірювальних систем для роботи із стандартними датчиками загальнопромислового призначення, які переважно більшістю є датчиками механічних величин. Наведено приклади реалізації таких систем на базі фірми National Instruments, а також запропоновані авторами шляхи покращення метрологічних характеристик таких систем.

Ключові слова: аналоговий інтерфейс, інформаційно-вимірювальна система.

V.P. KVASNIKOV, D.P. ORNASKY, I.V. GAVRYLOV, T.P. NICHIKOVA

National Aviation University, Kyiv

THE METHODS FOR CONSTRUCTING ANALOG INTERFACES FOR INFORMATION MEASURING SYSTEMS

In this article was analyzed the modern methods of constructing analog interfaces for information measuring systems for working with standard industrial sensors, that for the most part are the sensors of mechanical quantities. Examples of such systems on the basis of firm National Instruments, and the authors suggested ways to improve the metrological characteristics of such systems.

Keywords: analog interface, information-measuring system.

Вступ

В даній статті проаналізовані сучасні способи побудови аналогових інтерфейсів інформаційно-вимірювальних систем для роботи із стандартними датчиками загальнопромислового призначення які переважно більшістю є датчиками механічних величин. Наведено приклади реалізації таких систем на базі фірми National Instruments, а також запропоновані авторами шляхи покращення метрологічних характеристик таких систем.

Сьогодні використовуються три основні структурні схеми побудови аналогових інтерфейсів інформаційно-вимірювальних систем механічних величин, різниця між ними полягає у способі корекції похибки вимірювального каналу, але в будь-якому випадку їх можна представити як послідовне з'єднання датчика, вимірювального перетворювача параметрів сигналів і формувача уніфікованого вихідного сигналу. Це послідовна структура, що складається з багатофункціонального вимірювального перетворювача, який забезпечує основне підсилення вихідного сигналу датчика, зменшує вплив синфазних складових вихідного сигналу датчика, також виконує попередню фільтрацію і формує уніфікований вихідний сигнал для керування уніфікуючим вимірювальним перетворювачем, що формує сигнал для лінії зв'язку. Уніфікований сигнал може бути трьох основних типів: стала напруга (відстань до об'єкту вимірювання не перевищує декількох метрів), або сталий струм (4...20 мА) (якщо відстань до об'єкту становить декілька сотень метрів), або частотно-модульований сигнал. Останній набув значного поширення лише у широкосмугових лініях зв'язку (оптичні або радіо канали) через відсутність завадо захищеного швидкодіючого частотного демодулятора НЧ-діапазону.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

При вимірюванні механічних величин, найбільшого поширення набув інтерфейс із уніфікованим інформаційним сигналом у вигляді сталого струму з діапазоном сигналу 4...20 мА.

Класифікація похибок аналогових інтерфейсів для інформаційних вимірювальних систем механічних величин представлена на рис. 1.

Схемотехніка ОП базується на використанні шести базових схем: інвертуючого підсилювача, неінвертуючого підсилювача, диференціального підсилювача, інвертуючого суматора, інтегратора та диференціатора, ідеальні характеристики (при використанні ідеального ОП) яких наведені в [1]. Інструментальні систематичні статичні похибки будуть складатися з чотирьох адитивних і п'яти мультиплікативних складових похибок схем на ОП та нелінійності функції перетворення.

Метрологічні характеристики компонентів аналогового інтерфейсу наводяться у вигляді класів точності за двочленною формулою і можуть бути просумовані за методикою [2], при цьому динамічні інструментальні похибки можуть бути визначені за сукупністю АЧХ та ФЧХ (що наводяться або визначаються окремо), а також нелінійність типу «сходінка», а випадкова інструментальна складова похибки – за допомогою спектральної щільності вхідних шумів окремих компонентів, що наводяться в їх метрологічних характеристиках, та завадозахищеності, яка нормуються у вигляді коефіцієнтів придушення завад нормального та загального виду.

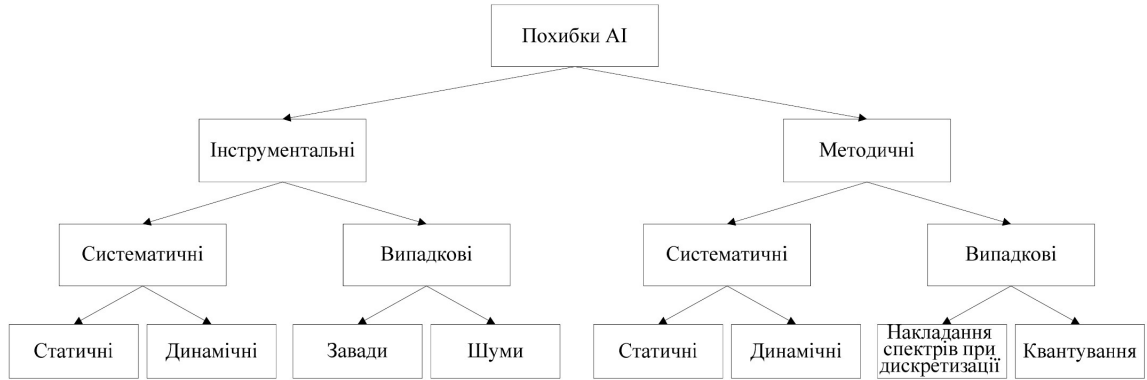


Рис. 1. Класифікація похибок аналогових інтерфейсів

Постановка задачі

Методичні систематичні статичні похибки утворюються за рахунок такого типу нелінійності як нелінійність функції перетворення (для датчика), а динамічні систематичні – за рахунок динамічної нелінійності, наприклад, похибки від втрат на гістерезис для індуктивних датчиків.

Найбільш впливовими складовими похибки аналогових інтерфейсів є інструментальні складові, методи корекції яких будуть розглянуті в даній статті.

Розв’язання задачі

Ще однією особливістю датчиків механічних величин є те, що їх характеристики знаходяться під впливом зовнішніх дестабілізуючих факторів, які змінюються в широкому діапазоні. При цьому, функція перетворення переважної більшості датчиків є нелінійною та нестабільною, що робить недоцільним побудову електронних еталонних моделей датчиків, та потребує періодичного калібрування. Це реалізується за допомогою електронних таблиць характеристик датчиків TEDS, при різноманітних значеннях дестабілізуючих факторів.

Transducer Electronic Data Sheet (TEDS) являє собою стандартизований метод зберігання ідентифікаційних даних перетворювачів (датчиків або виконавчих механізмів), калібрувальних та корекційних даних та супроводжувальної інформації від виробника. Формати TEDS визначені у комплексі стандартів стосовно інтерфейсу інтелектуального перетворювача IEEE 1451, що розроблений Технічним комітетом IEEE «Вимірювання та вимірвальна техніка. Сенсорні технології», в яких визначений перелік відкритих, спільних, мережево-незалежних інтерфейсів зв’язку для підключення датчиків до мікропроцесорів, вимірвальних систем та контрольних локальних мереж.

Одним із ключових елементів стандартів IEEE 1451 є визначення TEDS для кожного перетворювача. TEDS може бути реалізована у вигляді запам’ятовуючого пристрою, підключеного до перетворювача і містити інформацію, необхідну для вимірвальних приладів або системи управління для взаємодії з датчиком. TEDS можуть знаходитися у вбудованій пам’яті, зазвичай, типу ЕППЗП, в якій сам перетворювач підключений до вимірвального приладу або системи управління.

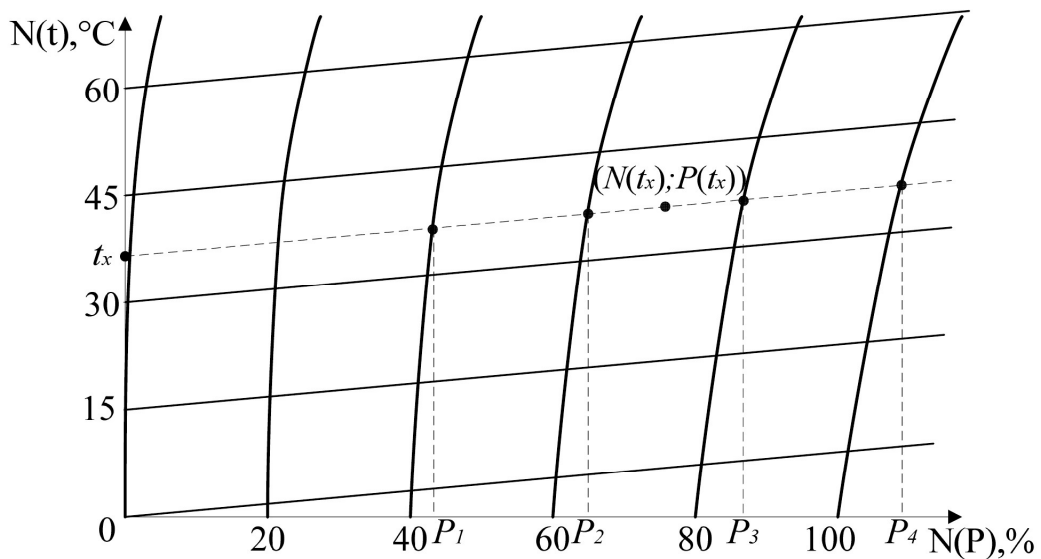


Рис. 2. Характеристики вимірвального каналу в полі вимірвальної величини та дестабілізуючого фактору

На відміну від первинних перетворювачів або датчиків, вторинні перетворювачі, тобто електронні вимірвальні перетворювачі переважною більшістю є лінійними, тому для корекції систематичної складової

похибки ефективно використовується декілька стандартних методів, насамперед, найбільшого поширення набув метод зразкових мір.

На сьогодні використовуються три основні структурні схеми побудови АІ ІВС, які можна представити як комбінацію датчика, вимірювального перетворювача параметрів сигналів і формувача уніфікованого вихідного сигналу. Різниця між ними полягає у способі корекції похибки вимірювального каналу.

На рис. 3 показана найбільш поширена на сьогоднішній день структура з ручною корекцією адитивної і мультиплікативної складових похибки АІ. Під час корекції датчик замінюється калібратором вимірюваної фізичної величини (зразковою мірою), який має відповідні параметри вихідного сигналу датчика в точках калібрування. При цьому оператор за допомогою ручних регулювань компенсує адитивну і мультиплікативну похибки АІ. Крім калібратора для такої процедури необхідний прецизійний вимірювач уніфікованого сигналу. Деякі фірми випускають обидва прилади в одному пристрої. Фірма BurtBrown випускає перетворювач ХТR108, в якому реалізується автоматизація процесу калібрування за допомогою мікроЕОМ, але це можливо тільки для одного типу датчика – платинового датчика температури, який можна замінити в декількох точках температурного діапазону прецизійними резисторами.



Рис. 3. Структурна схема аналогових інтерфейсів з ручною корекцією

На рис. 4 представлена структурна схема аналогового інтерфейсу з автоматичною корекцією похибок в аналого-цифровій формі.

Корекція реалізується за методом допоміжних вимірювань, суть якого полягає в тому, що за допомогою додаткового вимірювального каналу вимірюється значення основної дестабілізуючої величини, якою найчастіше виявляється температура.

Двопровідні використовуються, як правило, для побудови аналогових інтерфейсів без засобів автоматичної корекції похибок класу точності 0,5-1,0. В цьому випадку їм притаманне однополярне живлення і як наслідок значні похибки та при роботі з параметричними датчиками (наприклад, тензодатчиками) через значний синфазний сигнал (1/2 напруги живлення) та обмеженість коефіцієнта придушення синфазного сигналу вимірювальним підсилювачем, який має типове значення 60...80 дБ [3].

В реальних умовах ця похибка може сягати декількох відсотків. Для її зменшення (а також температурних похибок та похибок не лінійності напівпровідникових тензодатчиків) застосування набув метод допоміжних вимірювань з передчасним індивідуальним градуванням та аналого-цифровою корекцією.

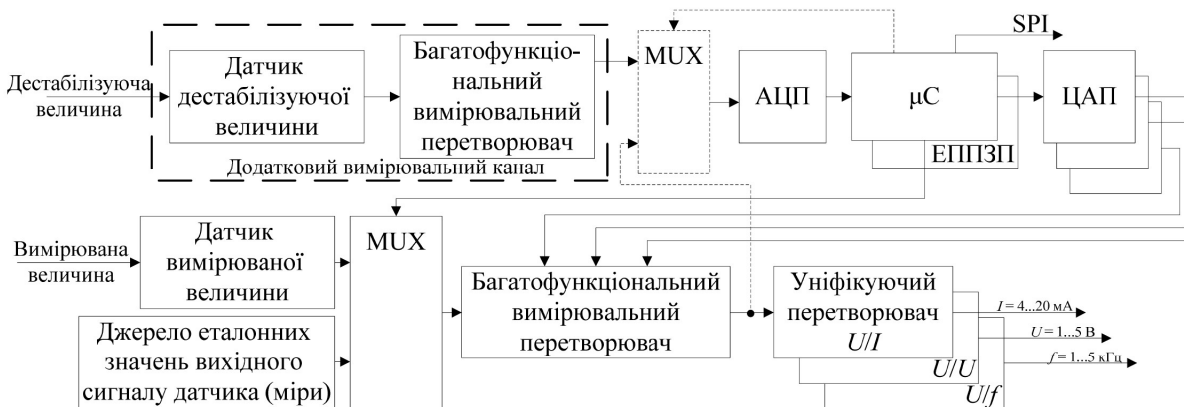


Рис. 4. Структурна схема аналогових інтерфейсів з аналого-цифровою корекцією

Наприклад, фірма BurtBrown випускає передавальну частину аналогового інтерфейсу для роботи з тензодатчиками типу PGA309.

Суть цієї корекції полягає в тому, що на етапі передчасного градування в ЕППЗП (EEPROM)

записуються керуючі коди для ЦАП, що вносять поправки на адитивну Δ , мультиплікативну γ та нелінійну $\gamma_{\text{нел}}$ складові при певних температурах.

АЦП, що перетворює температуру в код, та вихідну напругу функціонального перетворювача між реперними точками, що записані в пам'яті, реалізує в код лінійна інтерполяція. Іншими словами, можна сказати, що функції впливу температури на адитивну та мультиплікативну складові похибки та вихідної напруги функціонального перетворювача на нелінійну складову записані в ЕППЗУ у вигляді таблиць з лінійною інтерполяцією. Тобто якщо функція перетворення датчика лінійна, то достатньо занести в ЕППЗУ чотири градуювальні величини:

- адитивну похибку датчика (при певних умовах) (мається на увазі початкове зміщення «нуля» на виході датчика);
- температурний коефіцієнт адитивної похибки;
- чутливість датчика;
- температурний коефіцієнт чутливості.

У випадку, якщо функція перетворення датчика нелінійна, то використовується кусково-лінійна апроксимація під «керуванням» вихідної напруги функціонального перетворювача.

Для зменшення впливу адитивної похибки та низькочастотних шумів вимірювального підсилювача PGA309 він виконується з вбудованим МДМ каналом на основі варикапів. Але це підвищує похибки, через вплив комутаційних перешкод електронних комутаторів, що спонукає використовувати суттєве обмеження полоси корисного сигналу необхідністю використання низькочастотних фільтрів четвертого порядку з частотою зрізу 4...10 Гц [3].

До недоліків такої корекції можна віднести залишкові похибки від часового дрейфу параметрів вимірювальних перетворювачів, та похибки через зв'язок між каналами вимірювання температури та тиску.

Для роботи з PGA309 фірма VugBrown випускає вимірювальний перетворювач напруга-струм в інтегральному виконанні XTR115, який перетворює вихідну напругу PGA309 0,5...4,5 В у вихідний струм 4...20 мА і має також вихідну стабілізовану напругу +5 В для живлення PGA309.

Така корекція дозволяє зменшити температурні похибки, похибки напівпровідникових датчиків тиску до 1 % в температурному діапазоні від -40°C до +85°C, тобто в 30...50 разів.

На рис. 5 представлена структурна схема АІ з автоматичним внесенням поправки в цифровій формі. За допомогою мультиплексора і АЦП значення основної та дестабілізуючої величин вводяться в мікроЕОМ, де з відомих функцій впливу обчислюється скоригований результат, який за допомогою мікроЕОМ та ЦАП і уніфікуючого вихідного перетворювача формує вихідний сигнал. Пристрій оснащений також послідовним і паралельним кабельним інтерфейсом.

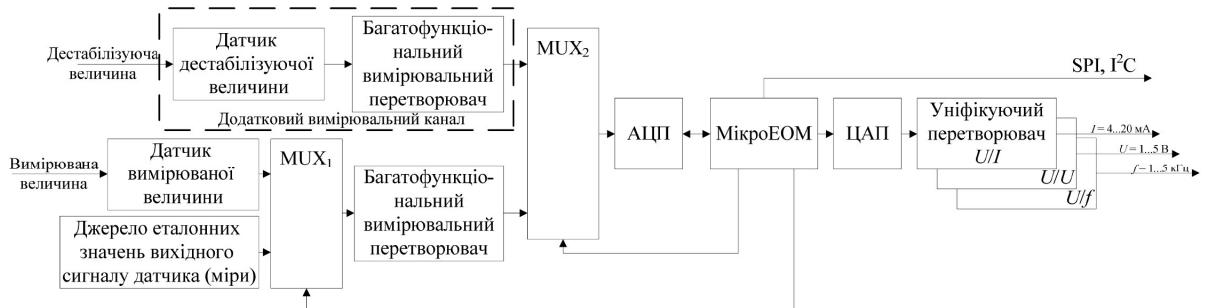


Рис. 5. Структурна схема аналогових інтерфейсів з цифровою корекцією похибок

Така схема застосовується, як правило, у трипровідних аналогових інтерфейсах завдяки більшим можливостям по струму живлення резидентної частини (до 10 мА замість 4 мА). В цьому випадку можна використати для автоматизації похибок більш потужну цифрову частину у вигляді ОМЕОМ, здатну підвищити ефективність такої корекції завдяки можливості виконувати певні обчислювальні операції.

Структурна схема передавальної частини аналогового інтерфейсу в цьому випадку набуває вигляд представлений на рис. 5. На відміну від попередньої схеми вихідний сигнал формується за допомогою ЦАП. АЦП в цьому випадку, для підвищення заводо захищеності, завдяки тому, що ОМЕОМ має програмований таймер, АЦП може бути реалізованим інтегруючого типу з проміжним перетворювачем напруга-частота. При цьому корекція вимірювального каналу може бути виконана за методом зразкових мір.

Сам алгоритм корекції передбачає на етапі передчасного градуювання запис у пам'ять ОМЕОМ, як правило, шести функціональних залежностей (у вигляді поліномів третього порядку)

$$P_i(t) = f_p(t, P_i) |_{i=1,2,\dots,6}$$

постійних тисків P_i від температури t для рівномірно розподілених значень $P_i = 0, 0,2 P_n, 0,4 P_n, 0,6 P_n, 0,8 P_n$; P_n , де P_n – номінальне значення, наприклад, вимірюваного тиску. Аналогічно записується залежність

$$t_j(P) = f_t(P, t_j) |_{j=1,2,3,4,5}$$

постійних температур t_j від тиску P для рівномірно розподілених значень t_j , наприклад: $t_j = 0^\circ\text{C}, 15^\circ\text{C}, 30^\circ\text{C}, 45^\circ\text{C}, 60^\circ\text{C}$. Ці функції, як правило, є лінійними залежностями, та через їх незначний нахил похибка

вимірювання температури не дуже впливає на результат вимірювання тиску. Наприклад, при похибці вимірювання температури 1 %, похибка вимірювання тиску в найгіршому випадку не буде перевищувати 0,03 % [4].

Таким чином, для розрахунку вимірюваного значення P_x треба буде спочатку за допомогою лінійної апроксимації визначити вимірювану температуру t_x . Потім, шляхом виконання п'яти операцій інтерполяції кубічних рівнянь, визначити результат вимірювання. За інтервал часу, що дорівнює 1 сек, МікроЕОМ забезпечує обчислення п'яти значень вимірювальної величини.

Отриманий таким чином скоригований результат окрім виключення температурної похибки забезпечує лінеаризацію характеристик перетворення та підвищення заводо захищеності. Загалом, в порівнянні з попереднім методом, похибка вимірювання зменшується в 10...50 разів.

Наявність ОМЕОМ надає можливості будувати за цією схемою аналоговий інтерфейс з комунікаційними цифровими інтерфейсами (RS485), тобто використовуючи для передачі аналогових сигналів кодоімпульсну модуляцію, що, безумовно, суттєво скорочує смугу частот корисних сигналів, зменшуючи її до долей Гц.

В чотирипровідних інтерфейсах використовуються зовнішні мережеві ізольовані блоки живлення, які дозволяють, завдяки симетричному потужному біполярному живленню мостових схем працювати також з металевими тензорезисторами та уникнути в значній мірі впливу обмеженості коефіцієнта придушення синфазних напруг вимірюваним підсилювачем. Це також дає можливість впровадити адитивний тест тензомоста, зробивши напругу живлення моста рівною нулю (за допомогою програмно керованого джерела напруги), тобто не розриваючи вимірювальну діагональ тензомоста, що також буде сприяти більш повній компенсації систематичних складових похибок вимірювального каналу. Мультиплікативний тест впроваджується шляхом шунтування протилежних плечей тензомоста прецизійними резисторами [5]. Перевагою такого методу є також відсутність розриву вимірювальної діагоналі тензомоста, а до недоліків можна віднести зниження ефективності корекції з часом через зміну опору тензодатчиків під час експлуатації [6]. Узагальнена структурна схема аналогового інтерфейсу з уніфікованими сигналами напруги представлена на рис. 6.

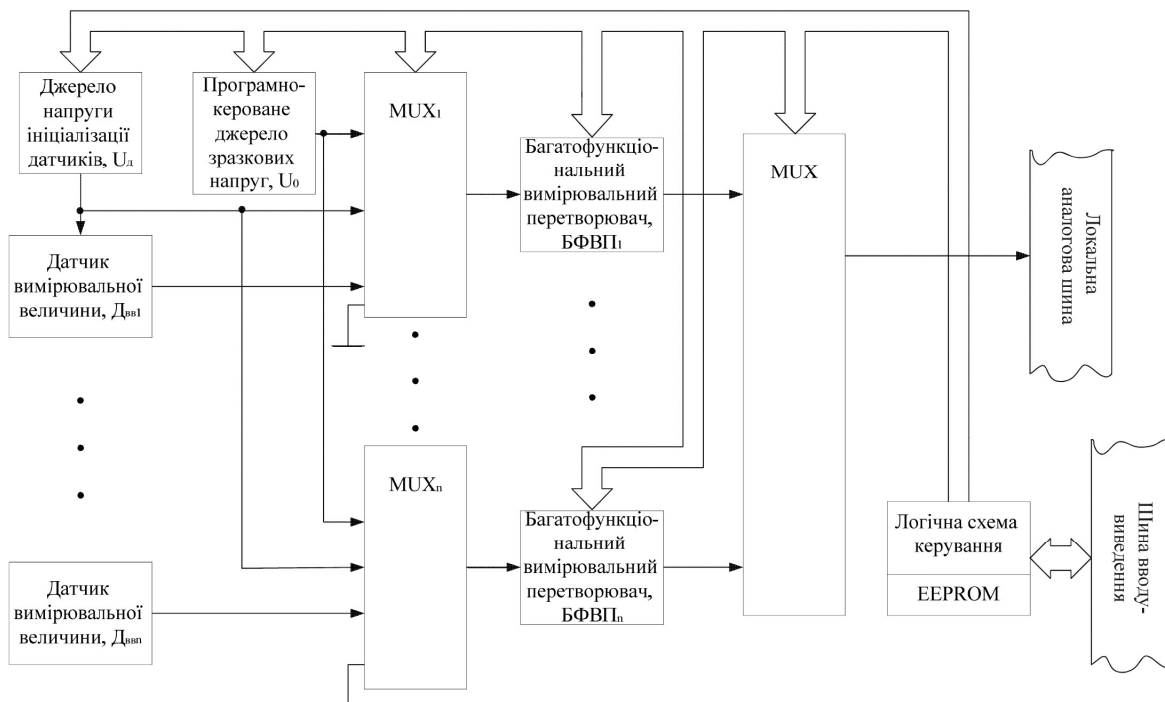


Рис. 6. Узагальнена структурна схема аналогового інтерфейсу з уніфікованими сигналами напруги

Для кожного датчика передбачений окремий функціональний перетворювач, який містить вимірювальний підсилювач з програмно керованим коефіцієнтом підсилення за напругою зміщення нуля, програмно-керований ФНЧ, засоби первинної обробки сигналу (ФЧВ, ПВЗ). На вході кожного функціонального перетворювача передбачений мультиплексор для підключення програмно-керованого джерела зразкових напруг U_0 , а також програмно-керований генератор U_y для ініціалізації датчиків.

Ізолюючий підсилювач забезпечує ізолювання вимірювальних сигналів. Корекція систематичних складових похибки електричного тракту аналогового інтерфейсу відбувається під керуванням програмного забезпечення системи збору даних з використанням методів адитивної та мультиплікативної корекції, тестових методів [7], [8], [9], [10]. Що стосується похибок датчиків, то як і в попередніх випадках, використовуються традиційні методи на основі передчасного градування. В пам'ять (ЕПІЗУ) записуються функція перетворення та функції впливу на неї основних дестабілізуючих факторів.

Ці аналогові інтерфейси призначені для роботи з вимірювальним обладнанням розташованим в

безпосередній близькості від ПК (до 10 м). У якості прикладу можна навести аналогові інтерфейси систем типу SCXI, SC, які відрізняються найкращими метрологічними характеристиками, багатофункціональністю, високою щільністю каналів, призначені для лабораторних досліджень.

Особливістю таких систем є використання аналогового мультиплексора на вході системи збору даних для збільшення кількості вимірювальних каналів. При цьому для кожного з віддалених датчиків (більше декількох метрів) використовується окремий аналоговий інтерфейс (4...20 мА) з ізольованими живленням та вихідним сигналом (для збільшення заводо захищеності). При роботі на невеликих відстанях до об'єкту вимірювання аналоговий мультиплексор може використовуватися на вході кожного аналогового інтерфейсу для комутації датчиків (однотипних). За такою схемою побудована система SCXI фірми National Instruments, а також портативні версії цієї системи SCC та 5B. Особливістю портативних версій є відсутність аналогового мультиплексора на вході аналогових інтерфейсів, що суттєво зменшує кількість каналів (до 8...16 на один крейт).

Якщо розглянуті засоби корекції реалізуються на одному чипі з сенсором, тобто виконуються в одному технологічному процесі, то такий перетворювач буде називатися інтелектуальним датчиком. Якщо компоненти структурної схеми аналогового інтерфейсу є фізично окремими виробами, то такий перетворювач буде носити назву інтелектуального інтерфейсу.

Вимірювальні перетворювачі за схемою, зображеною на рис. 3, переважно мірою використовуються у вимірювальних системах централізованого типу невисокого класу точності (0,5...1,0), наприклад, SCC фірми National Instruments. Вимірювальні перетворювачі з аналого-цифровою корекцією (рис. 4) застосовуються в інтелектуальних інтерфейсах з використанням послідовного периферійного інтерфейсу SPI для передачі електронних таблиць TEDS, у якості прикладу таких систем можна навести аналоговий інтерфейс типу 5B фірми National Instruments. Перетворювачі з цифровим внесенням корекції (рис. 5) можуть бути використані в інтелектуальних інтерфейсах з HART-протоколом, наприклад, в системі типу SCXI виробництва фірми National Instruments, а також в системах типу FieldPoint або 6B.

Висновки

Таким чином найбільшого поширення сьогодні набули такі методи корекції, як метод зразкових мір та допоміжних вимірювань. Основним недоліком методу зразкових мір є розрив вимірювального ланцюга при підключенні зразкових мір, що знижує ефективність корекції через вплив термоЕДС контактів (при роботі з тензодатчиками), струми витоків аналогового мультиплексора (при роботі з термопарою) та ін. При вимірюванні механічних величин це особливо актуально для прецизійних тензодатчиків, що, як відомо, виготовляються з константану, що утворює досить ефективну термопару з мідними під'єднувальними дротами. При роботі з термоелектричними перетворювачами струми витоків аналогового мультиплексора, які подвоюються на кожні 10°C, утворюють значне падіння напруги на захисних резисторах мультиплексора, по відношенню до низької корисної напруги термопар. Усе це призводить до значних похибок, тому актуальною є проблема розробки безрозривних методів корекції похибок датчиків механічних величин [11].

Література

1. Основи проектування вимірювальних перетворювачів на операційних підсилювачах: Методичні рекомендації до курсового та дипломного проектування / Уклад.: В.П. Бабак, Д.П. Орнатський, О.А. Вінчук та ін. – К.: НАУ, 2006. – 68 с.
2. Системы измерительные информационные. Методика расчёта метрологических характеристик измерительных каналов по метрологическим характеристикам линейных аналоговых компонентов : МИ 2168-91[Действующий от 01.01.1991]. – Львов.: ВНИИМИУС, 41 с. – Государственная система обеспечения единства измерений.
3. Специфікація Texas Instruments, Voltage Output Programmable Sensor Conditioner: PGA 309, 2011 – 24 с.
4. Эрб К. Повышение метрологических характеристик измерительных преобразователей методом цифровой компенсации погрешностей / К. Эрб, П. Фишер // Экспресс Информация, сборник Контрольно-измерительная техника, 1990. – вип. 42. – С. 22 – 28.
5. Специфікація National Instruments, SCXI Undiversal Strain Gade Input: SCXI-1520, 2013 – 9 с.
6. Измерение механических величин электрическими методами / [под ред. П. И. Пригоровского]. – М.: ГНТИ «Машлит», 1952. – 337 с.
7. Туз Ю.М. Структурные методы повышения точности измерительных устройств / Ю.М. Туз. – М.: «Высшая школа», 1976. – 256 с.
8. Куликовский К. Л. Методы и средства измерений: учеб. пособие [для студ. высш. уч. зав.] / К.Л. Куликовский, В.Я. Купер. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 448 с.
9. Средства измерений в автоматических информационных системах и системах управления. / П.М. Таланчук и др. – К.: Радуга, 1994. – 672 с.
10. Цветков Э.И. Процессорные измерительные средства / Э.И. Цветков – Л.: Энергоиздат, 1989. – 224 с.
11. Патент на изобретение № 7279 Украина, МПК (1995) Тензорезисторный измерительный преобразователь. / Орнатский Д.П., Петренко В.А.; Опубл. в Б.И. 1995, № 2.

Надійшла до редакції
24.2.2013 р.