

ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ

УДК 621.314

ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ БАГАТОКАНАЛЬНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

© Микола Ковальчук, Андрій Озгович, Іван Питель, Богдан Стадник, 2002

Національний університет "Львівська політехніка", кафедра "Інформаційно-вимірювальна техніка",
вул. С.Бандери, 12, 79013, Львів, Україна
Львівський національний університет ім. Івана Франка, вул. Університетська 1, 79000, Львів, Україна

*Розглянуто особливості побудови багатоканальних систем
з використанням інтелектуальних перетворювачів.*

*Рассмотрены особенности построения многоканальных систем
с использованием интеллектуальных преобразователей.*

*Features of construction of multi-channel systems with use
of intellectual converters are considered.*

Інтенсивність розвитку промисловості значною мірою залежить від стану засобів вимірювань. Крім того, постійно зростає складність задач автоматизації в різноманітних галузях науки і техніки при керуванні, діагностиці, контролі якості процесів і виробів, що зумовлює відповідне підвищення вимог до параметрів засобів вимірювань й особливо вимірювальних перетворювачів (ВП). Сучасні засоби вимірювань вже досягли достатньо високого ступеня розвитку, що було досягнуто за рахунок широкого використання засобів обчислювальної техніки. Водночас найвужчим місцем сучасних засобів вимірювань до останнього часу є власне первинні ВП неелектричних величин в електричні.

На початку 80-х років були виконані широкі дослідження у цій галузі вимірювальної техніки, причому основною метою цих досліджень було підвищення технічних характеристик і властивостей первинних ВП за допомогою широкого застосування останніх досягнень мікроелектроніки й обчислювальної техніки (однокристальних мікропроцесорів, сигнальних процесорів, нових напівпровідникових технологій тощо). Це привело до інтеграції таких елементів і пристроїв безпосередньо в первинні електронні вимірювальні блоки або ж (по можливості) у первинні ВП. Намітилася очевидна тенденція до переходу від централізованих систем керування, регулювання і вимірювання до децентралізованих, у яких задача

підготування й опрацювання даних частково вирішується безпосередньо на місці вимірювання. Під час створення засобів вимірювань такого типу виникає цілий ряд проблем, зокрема, корекції похибок, самоконтролю достатньо складних периферійних блоків і пристроїв, калібрування вимірювальних трактів тощо.

Загалом під інтелектуальним ІВП розуміють пристрій, за допомогою якого, крім перетворення вимірювальної інформації, здійснюється її одночасне опрацювання, фільтрація, стиск і коригування похибок. Як відомо, ІВП будь-якого типу реагує не тільки на інформативний параметр сигналу (корисний сигнал), але і на інші неінформативні параметри (перешкоди різноманітного типу), що призводить до появи систематичних і випадкових похибок вимірювання. Ця обставина істотно обмежує потік корисної інформації з первинного ВП, якщо під час вимірювання не вживаються спеціальні заходи для зменшення впливу побічних чинників на результат перетворення. Тому ІВП забезпечує або виконання відповідних функцій для підвищення кількості інформації у вихідному сигналі до необхідного рівня, або формує потік даних. Своєю чергою, такі властивості ІВП призводять до того, що його реальні метрологічні характеристики стають істотно вищими, ніж у первинного чутливого елемента, що виконує в традиційних системах функції ВП. Це

призводить до виникнення деяких проблем в галузі нормування технічних характеристик таких ВП при їх калібруванні і метрологічній атестації.

ІВП найчастіше являє собою сукупність апаратних і програмних засобів і забезпечує відображення властивостей досліджуваного об'єкта у вигляді визначеної структури даних, що формуються в результаті опрацювання за певним алгоритмом вихідного сигналу первинного чутливого елемента.

Виконано класифікацію сучасних ІВП для наступного визначення узагальненої структури як традиційного, так і інтелектуального ВП.* Так, більшість фізичних, хімічних та інших величин, що вимірюються, мають аналоговий вихідний сигнал, тому їх вимірювання і наступне опрацювання виконується в аналоговій і цифровій формах. У разі використання аналогових засобів вимірювань можуть застосовуватися різноманітні фізичні ефекти і закони, причому вимірювана величина або трансформується в пропорційну електричну величину шляхом перетворення виду енергії (пасивні ВП), або модулює відповідний електричний сигнал найчастіше зміною параметрів власне чутливого елемента (активні ВП). Друга група ВП, як правило, відрізняється вищою чутливістю, ніж ВП першої групи, які, своєю чергою, мають простішу структуру апаратних засобів.

Для зв'язку ІВП із зовнішніми блоками і керуючою ЕОМ звичайно використовуються послідовні стандартні інтерфейси різноманітних типів. Найпоширенішим стандартом на інтерфейс для систем збору інформації є RS-232, в той час як стандарти RS-422, RS-423 і RS-485 застосовуються лише якщо інтерфейс типу RS-232 не може задовольнити вимоги системи. На основі цих стандартів будуються однопровідний, симетрично-диференціальний і несиметрично-диференціальний інтерфейси. Рекомендована, згідно із ГОСТом 23675-90 "Системы передачи данных" максимальна довжина лінії, по якій передається інформація, у випадку використання інтерфейсу RS-232 приблизно 17 м, а максимальна швидкість передачі даних – близько 20 Кбод, а при швидкості передачі 2 Кбод – до 300 м.

Стандарт RS-422 характеризується найбільшим запасом завадостійкості, можливістю роботи з найдовшими лініями передачі і максимальними швид-

костями передачі. Цей інтерфейс функціонує ефективно при синфазних завадах з амплітудою до ± 3 В, що наводяться в лінії передачі. Допускається довжина лінії, що дорівнює приблизно 1300 м, і швидкість передачі даних до 10 Мбод.

Несиметричний диференціальний інтерфейс допускає довжину ліній передачі до 1300 м і швидкість передачі даних до 100 кбод. Ті самі інтегральні схеми приймача і передавача, що використовуються для реалізації інтерфейсу RS-422, можуть застосовуватися і для побудови несиметричного диференціального інтерфейсу. Єдина відмінність несиметричного диференціального інтерфейсу від симетричного полягає в тому, що в першого інтерфейсу зворотний земляний провід є загальним для декількох сигнальних кіл.

Зі зростанням довжини ліній, що з'єднують передавач і приймач, збільшуються частоти передачі, і все більшої важливості набуває врахування характеристик ліній передачі. Для дуже довгих ліній, а іноді і для коротких ліній, але з високою швидкістю передачі з'єднувальний кабель більше не можна розглядати просто як провідник з нехтовно малим активним опором.

Екрановані лінії, наприклад, коаксіальні кабелі й екрановані скручені пари проводів краще захищені від перешкод, ніж неекрановані. Деякими найпоширенішими типами ліній передачі, що дають змогу покращити техніко-економічні показники систем передачі, є скручені пари проводів, екрановані скручені пари проводів, коаксіальний і здвоєний коаксіальний кабелі. Коаксіальні кабелі, як правило, мають суто резистивний характеристичний імпеданс від 50 до 100 Ом, а скручені пари – інші значення, звичайно менші, ніж 200 Ом. Значення характеристичного імпедансу кабелю вказує виготовлювач.

За останні роки значно поширилися волоконно-оптичні лінії передачі. В умовах дії електричних шумів вони функціонують краще ніж звичайні провідні лінії. Крім того, вони, як правило, мають ширшу смугу частот, ніж провідні лінії, тобто забезпечують вищі швидкості передачі даних або об'єднання більшої кількості каналів передачі в одному кабелі. Як формувачі сигналів, переданих по волоконно-оптичному кабелю, можуть, наприклад, використовуватися інфрачервоні світлодіоди, а як лінійні приймачі – інфрачервоні детектори. Волоконно-оптичні формувачі і приймачі, сумісні з ТТЛ – сигналами, волоконно-оптичний кабель забезпечує захист системи передачі від впливу електричних шумів, наведень від двигунів, і виключає небезпеку виникнення

* Herold H. Zu einigen Problemen intelligenter Sensoren // *Wissenschaftliche Zeitschrift*. – 1998. – № 3.

перешкод від електричних розрядів, які відбуваються в атмосфері. Обмеженість застосування волоконно-оптичних кабелів полягає в тому, що їх легко можна пошкодити, вони мають високу вартість та необхідно мати спеціальне обладнання для їх монтажу і відладки.

Для забезпечення необхідної достовірності передачі даних можуть використовуватися достатньо складні протоколи обміну з виявленням і коригуванням помилок передачі. Найпопулярнішими стандартами сьогодні є Modbus, Profibus, Fieldbus.

У традиційних ІВП попереднього покоління для підвищення їх метрологічних характеристик використовувався цілий ряд структурних схем. В них реалізовувалось регулювання зміщення нуля і калібрування для компенсації розкиду характеристик перетворювача під час виготовлення, компенсація впливу температури на результат вимірювання та лінеаризація передавальних характеристик чутливих елементів.

Інтеграція мікропроцесорів і однокристальних мікроЕОМ безпосередньо в складі ІВП забезпечує можливість подальшого поліпшення їх метрологічних характеристик уже програмними засобами. Для підвищення статичних характеристик в ІВП доцільно використовувати такі алгоритми: корекцію відхилень початкового зсуву і крутизни для лінійних передавальних характеристик, градування шкали вимірювального тракту, лінеаризацію передавальних характеристик. Крім цього, виконувати корекцію впливу завад з використанням вагового усереднення, реалізовувати диференціальні методи вимірювання

програмними засобами, застосовувати адаптивні методи корекції з формуванням нового коригувального значення за результатом останнього вимірювання тощо. Дуже важливим для всієї системи є діагностика і калібрування вимірювального тракту ІВП, що забезпечує підвищення достовірності і надійності вимірювання. Сюди можна зарахувати: контроль напруг живлення та визначення працездатності окремих елементів і вузлів, автоматичне калібрування по зовнішніх або вмонтованих еталонних джерелах тощо. Крім наведених вище задач, ІВП може виконувати опрацювання результатів вимірювання і стиск інформації, контроль граничних значень і оцінку тренду, математичні і логічні операції відповідно до поставленої вимірювальної задачі (наприклад, знаходити вимірювані величини при непрямих вимірюваннях), забезпечувати зв'язок із керуючою ЕОМ та іншими периферійними приладами (зв'язок по загальній шині, передача сигналів у режимі із квітуванням зв'язку, реалізація переривань із контролем програмних засобів, передача і прийом сигналів керування).

Нижче описана багатоканальна система вимірювання температури на основі ІВП.

У системі використовуються ІВП, які з'єднані паралельно і складають мережу, що під'єднується до персонального комп'ютера (ПК) через блок живлення та гальванічної розв'язки (БЖГР) [1]. БЖГР забезпечує живлення інтелектуальних перетворювачів та гальванічне розділення їх електричних кіл з іскробезпечними колами ПК, крім цього, забезпечує захист від небезпечних наведень на лінії зв'язку. Для економії комунікаційних затрат мінімізовано кількість ліній і каналів між БЖГР та ІВП.

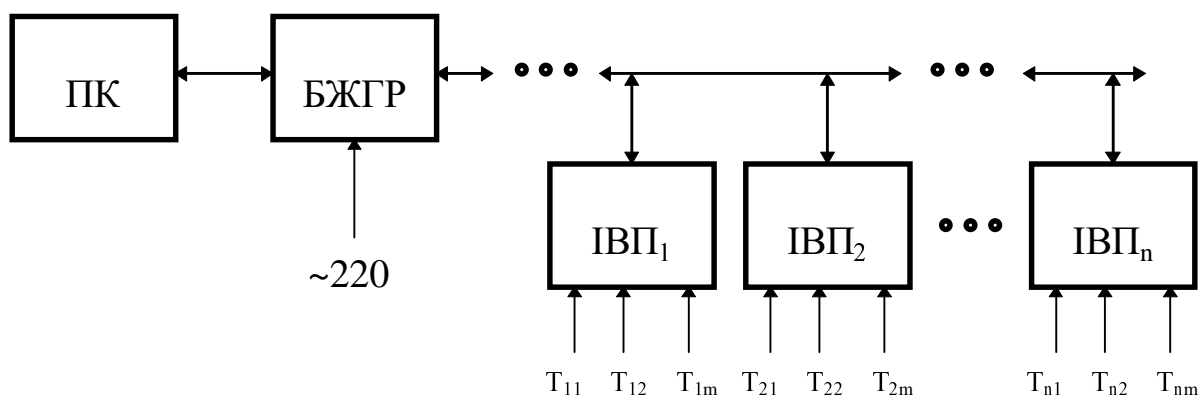


Рис. 1. Структурна схема багатоканальної системи вимірювання температури

ІВП призначені для перетворення контрольованих температур в двійковий код та послідовної передачі результатів у лінію зв'язку. Операції аналого-цифрового перетворення здійснюються всіма ІВП одночасно за командою від ПК, а передача результатів – послідовно за заданими з ПК адресами ІВП. Отже, тривалість циклу вимірювання всіх температур становить $T_{\text{вим}} = m t_{\text{вим}} + t_{\text{пер}} n$, де m – кількість вимірюваних температур одним ІВП; $t_{\text{вим}}$ – час вимірювання однієї температури; $t_{\text{пер}}$ – тривалість передачі результатів вимірювання від ІВП; n – кількість ІВП в системі.

Всі ІВП є ідентичними конструктивно завершеними пристроями, які, своєю чергою, можна умовно розділити на дві структурні частини: БЕ – блок електроніки; БПП – блок первинних перетворювачів [2]. БПП являє собою армований кабель з вбудованими термоперетворювачами опору. Така конструкція БПП забезпечує високу міцність на розрив до 3000 кг. Всі чутливі елементи з'єднані послідовно з джерелом струму, а потенційні виводи чутливих елементів виведені на схему вимірювання.

Вхідний комутатор (ВК) забезпечує по чергову подачу спадів напруги на кожному з ТО та калібрувальних напруг на вхід диференційного підсилювача (ДП). Вихідна напруга ДП подається на вхід АЦП, де перетворюється у цифровий код. Результати перетворень після математичної обробки за допомогою мікропроцесора

(МП) трансформуються у відповідні значення вимірюваної температури, яка передається по лінії зв'язку на ПК.

Оскільки в ІВП використовується МП, то для зменшення похибок введено додаткові цикли перетворення для організації автокалібрування вимірювального тракту. Послідовно з ТО ввімкнутий еталонний резистор R_N . На основі перетворення спадів напруг на ТО, еталонному резисторі та нульового диференційного потенціалу на вході комутатора формується система рівнянь. Допускаємо, що за час вказаних перетворень значення струму через послідовну ланку не змінюється. Інерційніші зміни значення вимірювального струму не впливають на результат вимірювання. Отже, основні джерела похибки вимірювання такі: наявність розкиду $\Delta_{\text{кmax}}$ значень опору каналу вхідного комутатора у відкритому стані; наявність значної синфазної складової на вході ДП; скінченна розрядність АЦП та вплив завад і шумів тракту перетворення. Причиною обмеження кількості каналів вимірювання в багатоканальних засобах вимірювання є вплив струмів витоку каналів вхідного комутатора в закритому стані. Первинний перетворювач, що являє собою послідовне з'єднання ТО, має значну довжину (40 м і більше), тому на результат вимірювання впливає опір провідників між сусідніми ТО. Якщо вважати, що опори вказаних провідників є однаковими, то їх вплив усувається програмно.

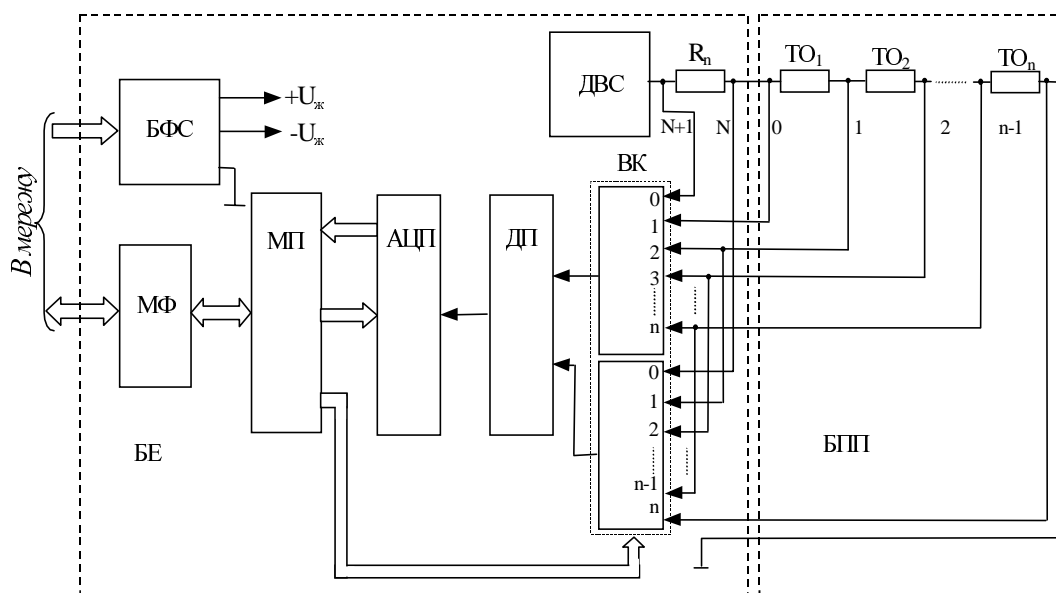


Рис. 2. Структурна схема ІВП

Режим автокалібрування дає змогу зменшити лише систематичну складову похибки, в той час як випадкова складова буде нагромаджуватися. Тому слід звернути особливу увагу на похибку квантування АЦП, оскільки вона має випадковий характер. Здебільшого доцільно розрядність АЦП вибирати так, щоб абсолютна похибка квантування не перевищувала 10% від заданої граничної абсолютної похибки вимірювання. Для багатьох АЦП слід враховувати, що реальне значення похибки квантування за рахунок значної похибки від диференційної нелінійності може істотно перевищувати значення, наведені в довідковій літературі для АЦП

$$\delta_{\text{кв}} = \pm \frac{0,5}{2^n} \times 100\%,$$

де n – кількість розрядів АЦП.

Автокалібрування може реалізовуватись відомими способами:

1. Вимірювана й еталонна величини почергово надходять на вхід засобу вимірювання. За результатами каліброваних вимірювань у двох точках $X_k = 0$ і $X_k = X_N$ (початок та кінець діапазону вимірювання) калібрується тракт вимірювання.

Цей вид калібрування може використовуватися як у статичному, так і в динамічному режимах.

2. Вимірювана величина практично постійно подається на вхід вимірювальної системи, а еталонна періодично адитивно підсумовується з нею на вході. За рахунок цього забезпечується одночасне вирішення таких проблем:

- виключається вплив адитивних похибок під час обчислення різницевого значення;
- виключається вплив мультиплікативних похибок;
- визначається значення адитивного зміщення характеристики.

Використання такого способу калібрування допускає, що в період між двома опорними вимірюваннями вимірювана величина залишається постійною.

3. Еталонна величина через певні моменти часу подається на вхід вимірювальної системи, причому її значення вибирають так, щоб результат вимірювання формувався у діапазоні $y \pm \Delta_{yR}$. Тут при достатньо великій кількості окремих вимірювань еталонної величини одержують функцію розподілу ймовірностей $o(y)$ із середнім значенням вимірюваної величини як найімовірнішим результатом вимірювання, причому за отриманою функцією розподілу достатньо просто визначаються і точнісні характеристики системи, як-от систематична і випадкова складові похибки.

В принципі відомі й інші методи автоматичного калібрування вимірювальних трактів, проте вони або зводяться до описаних вище, або використовуються дуже рідко. Відзначимо, що результати вимірювань за результатами попереднього калібрування найраціональніше коректувати в реальному масштабі часу. Водночас це значно ускладнюється, якщо під час корекції одночасно виконується корекція коефіцієнта передачі і нелінійності передавальної характеристики. Важливим є питання оптимального вибору міжкалібрувальних інтервалів при заданих точнісних характеристиках вимірювального тракту. Це завдання є дуже актуальним, тому що, з одного боку, дає змогу сформулювати вимоги до тривалості власне калібрування при визначених точнісних характеристиках каліброваного тракту, а з іншого боку – мінімізувати час переривання вимірювань для реалізації операцій калібрування. Дуже тісний взаємозв'язок спостерігається між частотою і тривалістю калібрування, з одного боку, і точнісними характеристиками і частотними параметрами ІВП, з іншого. Відзначимо, що зі збільшенням частоти калібрування щодо якогось оптимального значення, по-перше, знижуються точнісні характеристики системи, а по-друге, зменшується гранична частота еквівалентної смуги пропускання ІВП.