

УДК 621.317.7

ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ УНІВЕРСАЛЬНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

© Роман Огірко, Микола Микійчук*, 2002

Національний університет “Львівська політехніка”
кафедри “Інформаційно-вимірювальна техніка”,* “Метрологія, стандартизація та сертифікація”,
вул. С.Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

Розглянуто проблеми створення універсальних вимірювальних засобів автоматизації технологічних процесів. Сформульовано комплекс вимог до таких вимірювальних засобів і визначено основний набір функцій, котрі вони повинні виконувати. Запропоновано оптимальну структуру вимірювальних засобів і функціональну схему їх вимірювального кола.

Rассмотрены проблемы создания универсальных измерительных средств автоматизации технологических процессов. Сформулирован комплекс требований к таким измерительным средствам и определен основной набор функций, которые они должны выполнять. Предложено оптимальную структуру измерительных средств и функциональную схему их измерительной цепи.

In article are analyzed problems of developing of the universal industrial measurement controller. Formulated desires for controller and determinated his basics functions. Proposed an optimal variant of controller structure and configuration of measurement circuit.

Вступ

У галузі автоматизації технологічних процесів поширені гнучкі системи на основі польових шин – таких, як Fieldbus, Profibus, DeviceNet [1 – 4] тощо. Однак впровадження прогресивних технологій автоматизації не завжди економічно виправдане на об'єктах, що потребують контролю невеликої кількості параметрів і не вимагають складних алгоритмів керування (особливо на об'єктах, де не планується заміна елементів керування і виконавчих пристроїв). Фактором, що гальмує впровадження сучасних технологій на малих об'єктах автоматизації, є значні капітальні вкладення для закупки й встановлення нового обладнання, розробки програмного забезпечення й перепідготовки обслуговуючого персоналу.

В багатьох випадках контроль параметрів і керування технологічними процесами на малих об'єктах автоматизації базується на різномірних засобах вимірювання, елементах релейної автоматики і ручного керування. У кращому випадку ядром системи автоматизації служить програмований контролер, у котрий інтегровано засоби збору вимірюваних параметрів і формування сигналів керування технологічним процесом. Різномірність технічних засобів автоматизації

істотно ускладнює їх експлуатацію та змушує користувача утримувати значний парк запасних приладів та пристроїв для оперативного поновлення роботоздатності системи після виходу з ладу одного з її елементів. Тому природним є прагнення користувачів максимально зменшити номенклатуру засобів системи автоматизації, в ідеалі до одного технічного засобу, котрий далі ми будемо називати універсальним вимірювальним контролером технологічних процесів.

Звичайно, ідеальний засіб автоматизації створити неможливо, але, враховуючи розвиток мікроелектронної техніки, можна синтезувати такий засіб, що буде задовольняти більшість практичних задач, маючи розумні техніко-економічні показники. Крім цього, такий засіб не повинен мати недоліків універсальності, таких, як громіздкість, складність процедур керування, реконфігурування, монтажу й демонтажу. Для успішного розв'язання цієї задачі потрібно визначити коло найтипівіших параметрів, що контролюються, функцій, які виконують засоби автоматизації на малих об'єктах автоматизації, сукупність вхідних і вихідних сигналів, які забезпечують виконання цих функцій, принципи організації керування самим засобом і конструкцію, що забезпечить простий монтаж і демонтаж.

Це можна зробити на основі вивчення вказаних параметрів продукції, що присутня на ринку засобів автоматизації [5 – 7].

Контрольовані параметри

У сучасних технологічних процесах здійснюється контроль і вимірювання широкої гами технологічних параметрів за допомогою різноманітних вимірювальних приладів і перетворювачів. До найпоширеніших параметрів можна зарахувати температуру, тиск, рівень, вагу й витрати. Незважаючи на фізичну різорідність цих параметрів, здебільшого первинними вимірювальними перетворювачами вони перетворюються в електричні інформативні параметри такі, як напруга, струм, опір. Діапазон зміни цих параметрів становить: для напруги від -40 до $+100$ мВ; для струму від 0 до 20 мА; для опору від 1 до 2000 Ом; для мостових перетворювачів (тензоперетворювачі) – декілька відсотків від напруги живлення моста. Для більшості первинних перетворювачів характерна нелінійна залежність інформативного параметра перетворювача від значення вхідної фізичної величини. Оскільки більшість вимірюваних параметрів подаються сигналами низького рівня, а самі вимірювання здійснюються в умовах досить значних завад (особливо з частотою мережі живлення), то до промислових засобів вимірювання ставляться досить жорсткі вимоги до показників завадостійкості.

Вихідні сигнали

Вихідні сигнали засобу автоматизації можна розділити на дві групи, а саме: сигнали сигналізації й сигнали керування виконавчими пристроями.

Сигнали сигналізації відображають вихід контрольованого параметра за встановлені межі. На деяких об'єктах сигналізується про аварійний і передаварійний стан. У більшості засобів автоматизації для реалізації функції сигналізації вводиться дві уставки, а для усунення короточасних спрацювань системи сигналізації при знаходженні контрольованого параметра в околі уставки уставкам задається певний гістерезис. Сигнали сигналізації є дискретними і реалізуються за допомогою одно- або двопозиційного реле. Для забезпечення максимальної гнучкості системи сигналізації доцільно надати користувачеві можливість встанов-

лювати всі її параметри, включаючи і стан вихідного сигналу, що відповідає активному вихідному стану системи сигналізації.

Сигнали керування об'єктом можна розділити на дві групи – аналогові і дискретні.

Аналогові сигнали – це група уніфікованих сигналів, в якості котрих найчастіше використовується струм у межах $0...20$ мА або $4...20$ мА, і часоімпульсних сигналів, серед котрих найчастіше застосовуються сигнали з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ), період котрих може встановлюватись в межах від одиниць мілісекунд до десятків секунд. У деяких засобах передбачаються два ШІМ – канали, наприклад, для керування системами, що мають функції “нагрів-охолодження”.

Дискретні сигнали формують засоби, в котрих реалізовано одно- або двопозиційне керування. Формування цих сигналів керування нічим не відрізняється від формування сигналів сигналізації.

Особливе місце займає формування сигналів керування виконавчими пристроями зі зворотним зв'язком (наприклад, реохордним), оскільки, крім формування самих сигналів керування, наприклад, дискретних сигналів, що вказують напрям повороту механізму, потрібно вимірювати сигнал зворотного зв'язку.

Зі сказаного вище можна зробити висновок, що універсальний засіб автоматизації повинен підтримувати формування, як мінімум, трьох дискретних сигналів із програмованими функціями. Крім цього, доцільно, щоб такий засіб завжди містив канал формування уніфікованого аналогового сигналу, оскільки в практиці керування малими об'єктами ще досить часто використовуються виконавчі пристрої з уніфікованим вхідним сигналом і виникає потреба документування параметрів технологічного процесу, для чого ще досить широко застосовуються самописці.

Основні функції

Сукупність функцій, що реалізуються у наявних засобах автоматизації, можна згрупувати так.

Інтерфейс користувач-засіб.

Це функції, що підтримують взаємодію оператора із засобом. Вони об'єднують засоби відображення значення контрольованого параметра і стану самого засобу, елементи введення команд користувача й алго-

ритм, що пов'язує засоби вiдображення з командами користувача i внутрiшнiми станами засобу. Інтерфейс користувач-засiб пiдтримується як мiнiмум одним багатозначним iндикатором, на котрому вiдображаються контрольований параметр i, за вимогою користувача, додатковi параметри, що визначають режими роботи засобу, одиничними iндикаторами, що вiдображають основнi внутрiшнi стани засобу й режим основного iндикатора, та набором клавiш для введення команд. Така органiзацiя інтерфейсу потребує мiнiмальних затрат для реалiзацiї. Однак у функцiонально-насичених засобах мiнiмальнi функцiї вiдображення можуть iстотно ускладнити алгоритм взаємодiї користувач – засiб i зробити незручним для сприйняття iнформацiйний потiк вiд засобу до користувача. У таких засобах доцiльно використовувати розвинуту систему вiдображення, що забезпечить, крiм вiдображення основного параметра, органiзацiю дiалогового інтерфейсу користувач – засiб, вiдображення допомiжної iнформацiї у виглядi, зручному для користувача (встановлення контрольованого параметра у числовому виглядi, вiдхилення контрольованого параметра вiд уставки у аналоговому виглядi, стани сигнальзацiї у виглядi вiдповiдних пiктограм). Використання розвинутої системи вiдображення дає змогу звести до мiнiмуму кiлькiсть елементiв введення команд без погiршення зручностi їх введення i забезпечити iнтуїтивне розумiння користувачем функцiй інтерфейсу. Зважаючи на велику кiлькiсть параметрiв, що вводяться в засiб, зокрема параметрiв, котрi визначають його працездатнiсть, в багатьох випадках інтерфейс користувач-засiб пiдтримує регламентацiю доступу до функцiй конфiгурування.

Інтерфейс засiб – головна система.

Регламентує протокол прийому команд засобом та передачi результатiв вимiрювання й iнформацiї про внутрiшнi стани засобу в головну систему i його фiзичну реалiзацiю. Найпоширенiшi в системах автоматизацiї стандартизованi протоколи будуються на основi iдеологiї вiдкритих систем, передбачають магiстральну органiзацiю обмiну мiж елементами системи (польову шину), регламентуючи сумiснiсть на фiзичному рiвнi, рiвнi передачi iнформацiї i на рiвнi прикладної задачi. На малих об'єктах автоматизацiї

елементи системи взаємодiють не через магiстраль, а за допомогою вiдповiдних з'єднань мiж елементами системи, тому в засобах малої автоматизацiї iнтерфейснi функцiї можуть бути iстотно обмеженими й спрощеними. Для таких засобiв автоматизацiї достатньо, щоб протокол обмiну забезпечував взаємодiю декiлькох пристроїв iз головним комп'ютером через просту лiнiю зв'язку, давав змогу збирати iнформацiю про об'єкт автоматизацiї, контролювати стан самих засобiв i за потреби керувати режимами роботи засобiв. Серед стандартизованих протоколiв подiбнi функцiї виконує HART-протокол, призначений для органiзацiї цифрового iнтерфейсу в перетворювачах з унiфiкованим аналоговим вихiдним сигналом. Стандартизованiсть, функцiональна повнота, вiдповiднiсть iдеологiї вiдкритих систем i широке застосування в практицi промислових вимiрювань робить доцiлним введення в засiб малої автоматизацiї протоколу iз HART-подiбними структурою повiдомлень i алгоритмами обмiну. Структура повiдомлень у цьому протоколi передбачає гнучку систему адресацiї засобу й контролю якостi обмiну, передачу команд, значень контрольованих параметрiв (до чотирьох з одного засобу), iнформацiї про засiб, режими його роботи i внутрiшнi стани. Передача повiдомлень у виглядi посилки у послiдовному кодi у форматi NRZ дає змогу пiдтримувати протокол внутрiшнiми апаратними засобами бiльшостi однокристальних мiкроконтролерiв. Враховуючи, що обмiн у HART-протоколi здiйснюється пакетами команда-вiдповiдь, в малих засобах автоматизацiї доцiльно як фiзичну основу для передачi iнформацiї використати двопровiдний RS-485 i пiдняти швидкiсть обмiну до 9600 бiт за секунду або бiльше.

Органiзацiя процедури вимiрювання.

Передбачає сукупнiсть операцiй, що здiйснюються в засобi вимiрювання, для перетворення iнформативного параметра первинного перетворювача у форму, придатну для вiдображення вiдповiдної фiзичної величини i наступної обробки. Головною особливiстю процедури промислових вимiрювань є необхiднiсть забезпечення заданих метрологiчних характеристик у важких умовах експлуатацiї (змiна температури довкiлля в широких межах, високий рiвень електричних завад, значнi вiбрацiї, високий рiвень

запиленості й вологості). Враховуючи цю особливість, можна стверджувати про доцільність реалізації максимальної кількості вимірювальних операцій у цифровій формі. У промисловому засобі вимірювання вимірювання складається з таких операцій: перетворення вхідного інформативного параметра первинного перетворювача у цифровий код (аналого-цифрове перетворення), коректування похибок, перетворення коду, пропорційного до інформативного параметра первинного перетворювача у код, еквівалентний фізичній величині, що зображається цим інформативним параметром. Коректування похибок необхідне для мінімізації впливу на результат вимірювання таких факторів:

- неідеальності аналого-цифрового перетворення, зумовленої неточністю підгонки, неідеальністю і систематичною зміною під впливом зовнішніх факторів параметрів елементів, що визначають коефіцієнт перетворення;

- шумів та завод;
- інструментальних похибок первинного перетворювача, таких, як неточна підгонка початкового опору термперетворювача або початковий розбаланс тензомоста;

- методичних похибок, наприклад, зумовлених ненульовою температурою холодного спаю термоелектричного перетворювача або впливом опору лінії зв'язку.

Обробка результату вимірювання

Передбачає формування інформації про контрольований процес, визначення значень вихідних сигналів керування й сигналів сигналізації. Здебільшого користувач може одержати інформацію про відхилення контрольованого параметра від уставки, в деяких засобах є можливість одержати інформацію про мінімальне, максимальне і середнє значення контрольованого параметра за певний час. Для визначення значення аналогового сигналу керування реалізують алгоритм ПІД-регулювання. У багатьох засобах реалізовано алгоритми автоматичного пошуку оптимальних параметрів ПІД-регулювання, що істотно спрощує налагодження взаємодії засобу з об'єктом. Значно рідше реалізується можливість зміни уставки в часі за заданою користувачем програмою, що дає змогу керу-

вати об'єктами, на котрих вимагається підтримання певного профілю контрольованого параметра в часі.

Діагностика функціонування і метрологічних характеристик

Здебільшого діагностичні функції орієнтовані на виявлення й локалізацію несправності і реалізуються у вигляді окремої частини функції. Однак такий підхід до діагностики вимірювального засобу автоматизації не дає змогу мінімізувати ймовірність експлуатації функціонально або метрологічно несправного засобу. Тому функції діагностування доцільно інтегрувати в основні функції засобу і виконувати діагностування під час виконання основних функцій засобу, наприклад, контролюючи час і послідовність виконання функцій, діапазон значень і флуктуацію результатів вимірювання, значення й динаміку зміни поправок, визначених під час автоматичної корекції похибок.

Підготовка до роботи.

Ця група функцій забезпечує введення параметрів, що конфігурують засіб до конкретного місця експлуатації. До складу цих параметрів входять тип номінальної статичної характеристики первинного перетворювача, значення уставок, гістерезису, поправкових коефіцієнтів, часу усереднення, параметрів закону регулювання і вихідних сигналів, алгоритм роботи системи сигналізації тощо. Зважаючи на велику кількість інформації, що вводиться під час підготовки до роботи і на необхідність швидкої адаптації засобу до різних місць експлуатації, доцільно передбачити можливість запам'ятовування декількох конфігурацій, що забезпечить швидку заміну засобів, що вийшли з ладу.

Конструкція

Конструкція є одним з основних факторів, що визначають експлуатаційні властивості засобу автоматизації. Важливу роль при виборі конструкції відіграє організація системи під'єднання засобу до електричних кіл об'єкта автоматизації. Ця система повинна забезпечувати простий і надійний монтаж і демонтаж засобу на об'єкті. Здебільшого під'єднання електричних кіл здійснюється до колодки затискачів, розташованих на корпусі засобу, що дає змогу відмовитись від використання дорогих роз'ємів для зовнішніх з'єднань і виключити операції пайки під час їх монтажу. Однак, незважаючи на простоту і деше-

визну таких під'єднань, ця конструкція створює багато незручностей при монтажі-демонтажі засобу, особливо коли він має щитове виконання. До таких незручностей можна віднести: необхідність вимкнення живлення з щита або виконання робіт під напругою за неможливості вимкнення живлення, висока ймовірність неправильних під'єднань або порушення послідовності під'єднання кіл, від котрих не відімкнуте живлення, незручний доступ до з'єднувальної колодки тощо. В цих випадках найвдалішим, але дещо дорожчим є конструктивне виконання у вигляді шахти з колодками під'єднань і вставного модуля, що підключається до колодок через роз'єм для внутрішніх з'єднань. Цей варіант конструкції дає змогу достатньо просто забезпечити високий рівень захищеності (навіть до рівня IP65), виконавши шахту без вентиляційних отворів, покриття колодки під'єднань герметизуючою кришкою, герметизації передньої панелі прозорою плівкою й встановлення ущільнюючої прокладки між шахтою і передньою панеллю. У таких варіантах конструкції особливо важливою стає мінімізація внутрішнього перегріву за рахунок слабкого теплообміну між елементами схеми й довкіллям.

Структура

Зважаючи на широку гаму функцій, котрі повинен підтримувати універсальний вимірювальний контролер, високі вимоги до показників надійності, бажаність малих маси, габаритів та енергоспоживання, неперервну тенденцію до зниження питомої вартості елементів в інтегральному виконанні, можна стверджувати про доцільність програмної реалізації максимальної кількості функцій контролера із застосуванням функціонально насичених мікросхем високого ступеня інтеграції. Використання великих інтегральних схем різко зменшує кількість електронних компонентів схеми, показники надійності котрих мало відрізняються від аналогічних показників дискретних елементів і елементів малого ступеня інтеграції. Оскільки в промислових умовах електронна схема засобу знаходиться під дією інтенсивних завад, то домінуючим фактором, який визначає надійність засобу, стає кількість електричних зв'язків між елементами схеми та інтенсивність інформаційного потоку, що здійснюється через ці зв'язки. Цей факт спонукає розробників будувати архітектуру засобів автоматизації так, щоб

найінтенсивніші інформаційні потоки локалізувались у межах одного функціонального вузла, котрий, в ідеалі, реалізується на одній мікросхемі, мінімізуючи, у такий спосіб, обсяг інформації, що передається між функціональними вузлами. В багатьох випадках це твердження стосується тільки передачі цифрової інформації, але воно справедливе і для кіл, в котрих передається аналогова інформація. Для засобу вимірювання інтенсивність потоку аналогової інформації може сягати інтенсивності цифрових потоків. Для того, щоб у цьому переконатись, достатньо знайти інтенсивність потоку аналогової інформації за виразом

$$I = \sum_i^N \frac{X_i}{\sigma x_i} \cdot \Delta f_i, \quad (1)$$

де σx – допустиме значення середньоквадратичного відхилення аналогового сигналу від номінального значення; X – діапазон зміни аналогового сигналу; Δf – смуга пропускання; N – кількість зв'язків у аналогово-му колі.

Структуру універсального вимірювального контролера, побудованого з урахуванням мінімізації інтенсивності інформаційних потоків між функціональними вузлами, зображено на рис.1. В основу контролера покладено інтегральні аналого-цифровий (ADC1) і цифро-аналоговий (DAC) перетворювачі та однокристальний мікроконтролер (MCU). Для обміну інформацією між ними вибрано магістраль із послідовним синхронним обміном SPI, оскільки для її реалізації необхідна мала кількість інформаційних ліній і обмін по цій магістралі підтримується великою кількістю периферійних мікросхем. Інтенсивність обміну через магістраль невисока, оскільки через неї передаються лише команди керування ADC1, результати перетворення й коди керування DAC. Якщо як ADC1 використати перетворювач із вбудованими функціями корекції похибок і фільтрації, то інтенсивність інформаційного потоку може становити декілька десятків байт на секунду.

Зважаючи на невисоку інтенсивність обміну через магістраль, до неї можуть підключатись інші периферійні пристрої, наприклад, індикатор – IND. Таке увімкнення індикатора особливо ефективне, коли він знаходиться не на одній платі з MCU і підключається через роз'єм. Нині ринок пропонує широку гаму однокристальних мікроконтролерів, котрі цілком задовольняють нашу задачу за продуктивністю і значно відріз-

няються за об'ємом системних ресурсів (об'єм пам'яті програм і даних, засоби підтримки задач реального часу), за складом ресурсів підтримки комунікаційних функцій (апаратна підтримка протокольних функцій і обміну по стандартних інтерфейсах) та за складом і структурою апаратних засобів зв'язку з периферійними пристроями (кількість портів вводу/виводу, структура портів, швидкісний ввід/вивід, порти вводу/виводу аналогових сигналів тощо). Тому перед розробниками постає досить складна задача вибору типу контролера, котрий з мінімальними затратами дав би змогу реалізувати функції засобу автоматизації.

У такому разі мікроконтролер повинен обробляти потік вимірювальної інформації малої інтенсивності, здійснюючи невеликий обсяг математичних розрахунків. З такою задачею легко справляються восьмибітні процесори (CPU), продуктивність котрих нині сягає декількох мільйонів операцій на секунду. Багато-

функціональність, розвинутий інтерфейс користувач-контролер і велика кількість сервісних функцій контролера істотно збільшують об'єм програмного забезпечення і потребують збільшення об'єму оперативної пам'яті для змінних і стека. Практика розробки таких контролерів показала, що об'єм пам'яті програм (ROM) повинен бути не меншим, ніж 32 кБ, а об'єм пам'яті для зберігання змінних (RAM) – 1 кБ. Крім цього, для зберігання великої кількості параметрів, що задають режими роботи контролера, потрібно в контролері мати електрично програмовану енергонезалежну пам'ять (EEPROM). Для ефективної роботи в реальному масштабі часу контролер повинен мати хоча б один таймер-лічильник (TM/CNT), систему обробки переривань від всіх внутрішніх апаратних засобів і хоча б один вхід для зовнішніх переривань (для обробки сигналу закінчення перетворення ADC1).

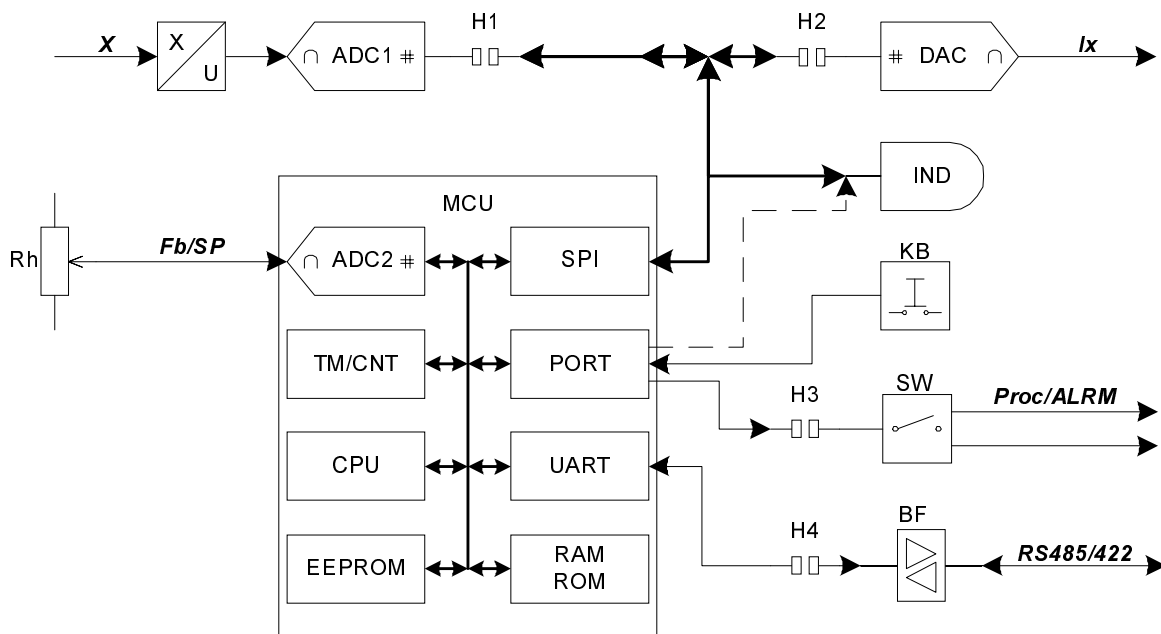


Рис. 1. Структура універсального вимірювального контролера:

X/U – перетворювач інформативного параметра в напругу; ADC – аналого-цифровий перетворювач; DAC – цифро-аналоговий перетворювач; IND – індикатор; KB – клавіатура; SW – ключові елементи дискретного виходу; BF – буфер; Rh – реохорд; MCU – мікроконтролер; SPI – послідовний периферійний інтерфейс; TM/CNT – таймери і лічильники; $PORT$ – порти вводу-виводу; CPU – процесор; $UART$ – універсальний асинхронно-синхронний приймач-передавач; $EEPROM$ – енергонезалежна пам'ять з електричним записом і стиранням інформації; $RAM ROM$ – оперативна та постійна пам'ять; H – елементи гальванічного розділення; X – інформативний параметр з первинного перетворювача; I_x – сигнал струму, пропорційний до вимірюваного параметра; Fb/SP – сигнал зворотного зв'язку або уставки; $Proc/ALRM$ – дискретні сигнали керування технологічним процесом і сигналізації

Для підтримки функцій інтерфейсу засіб-головна система в мікроконтролері повинен бути апаратний інтерфейс послідовного асинхронно-синхронного вводу-виводу (UART). Зважаючи на невисоку інтенсивність обміну через SPI-магістраль, наявність в мікроконтролері апаратного інтерфейсу SPI-магістралі, є не критичною. Якщо відсутній апаратний інтерфейс SPI-магістралі, його легко організувати програмно, задіявши для цього декілька ліній портів вводу-виводу. Програмно, через порти вводу-виводу, можна організувати формування вихідних дискретних сигналів і обслуговування клавіатури. В універсальному вимірювальному контролері, побудованому згідно зі структурою, зображеною на рис. 1, потрібен мікроконтролер, що містить порти на 8 – 10 ліній вводу-виводу. Якщо обслуговувати індикатор засобами мікроконтролера, то кількість необхідних ліній вводу-виводу значно зростає (як мінімум на 16 ліній). Більшість мікроконтролерів містить достатню кількість ліній вводу-виводу. Але, на нашу думку, ефективнішим є використання окремого інтегрального контролера індикації, підключеного до магістралі SPI з вбудованими елементами керування індикатором. У такому разі значно зменшується кількість дискретних елементів для керування індикатором, кількість електричних зв'язків і скорочується час, що витрачається мікроконтролером на обслуговування індикації. Зекономлений час можна виділити на самодіагностику під час роботи.

Для роботи з виконавчими пристроями, що формують аналоговий сигнал зворотного зв'язку у вимірювальному контролері, потрібно мати додатковий канал вводу аналогових сигналів. Особливістю цього каналу є невисока точність (не вище від декількох десятків відсотка) і високий рівень сигналу. Організувати такий канал на основі основного ADC1 недоцільно, оскільки сигнал зворотного зв'язку може створити завади для сигналу низького рівня з вимірювального перетворювача і зменшить продуктивність основного ADC1. Тому доцільно ввести додатковий ADC2, розрядність котрого може становити 8 – 10 біт. Якщо у вимірювальний контролер вводиться додатковий ADC2, бажано, щоб він мав більше від одного каналу перетворення. Додаткові канали доцільно використати для моніторингу первинних і вторинних живлень та для аналогового керування уставкою. Звичайно, найоптимальнішим є випадок, коли додатковий ADC2 входить в склад мікроконтролера. Однак вве-

дення зовнішнього додаткового ADC2 не призведе до істотного ускладнення і подорожчання вимірювального контролера, оскільки на ринку є достатній асортимент недорогих багатоканальних інтегральних аналого-цифрових перетворювачів з інтерфейсом SPI.

Як видно зі структурної схеми, контролер може взаємодіяти з давачами і приймачами вимірювальної інформації, формувати сигнали керування для виконавчих пристроїв та приймати і передавати інтерфейсні повідомлення. Достатньо висока універсальність контролера передбачає підключення до нього різноманітного обладнання. В багатьох випадках в цьому обладнанні можуть бути вжиті недостатні заходи для захисту від завад. Це може призвести до виникнення істотних взаємних завад, котрі, в кращому випадку, призведуть до спотворень результатів вимірювання, а в гіршому – виведуть з ладу електронні компоненти контролера чи пристрою, що підключений до нього. Найефективнішим шляхом уникнення такої ситуації є гальванічне розділення всіх пристроїв, що підключаються до контролера. Найефективніше гальванічне розділення вводити в зв'язки, що містять мінімальну кількість інформаційних ліній. У контролері такими зв'язками є магістраль SPI та комунікаційна магістраль. Технічно просто гальванічне розділення реалізується в лініях формування дискретних сигналів керування застосуванням електромеханічних або електронних реле. На структурній схемі місця гальванічного розділення позначені елементами Н1 – Н4. Якщо в контролері не передбачається обробка сигналу зворотного зв'язку, то один з елементів гальванічного розділення – Н1 або Н2 можуть бути відсутніми.

Вимірювальне коло

Головною вимогою до вимірювального кола є універсальність, яка полягає у можливості вимірювання інформативних параметрів більшості промислових вимірювальних перетворювачів, і мінімальна кількість елементів комутації для під'єднання цих перетворювачів. Функціональна схема такого вимірювального кола зображена на рис. 2. В основу вимірювального кола покладено аналого-цифровий перетворювач ADC з комутатором S3, S4 і диференційним підсилювачем DA на вході. Джерело опорної напруги аналого-цифрового перетворювача Uref одночасно є

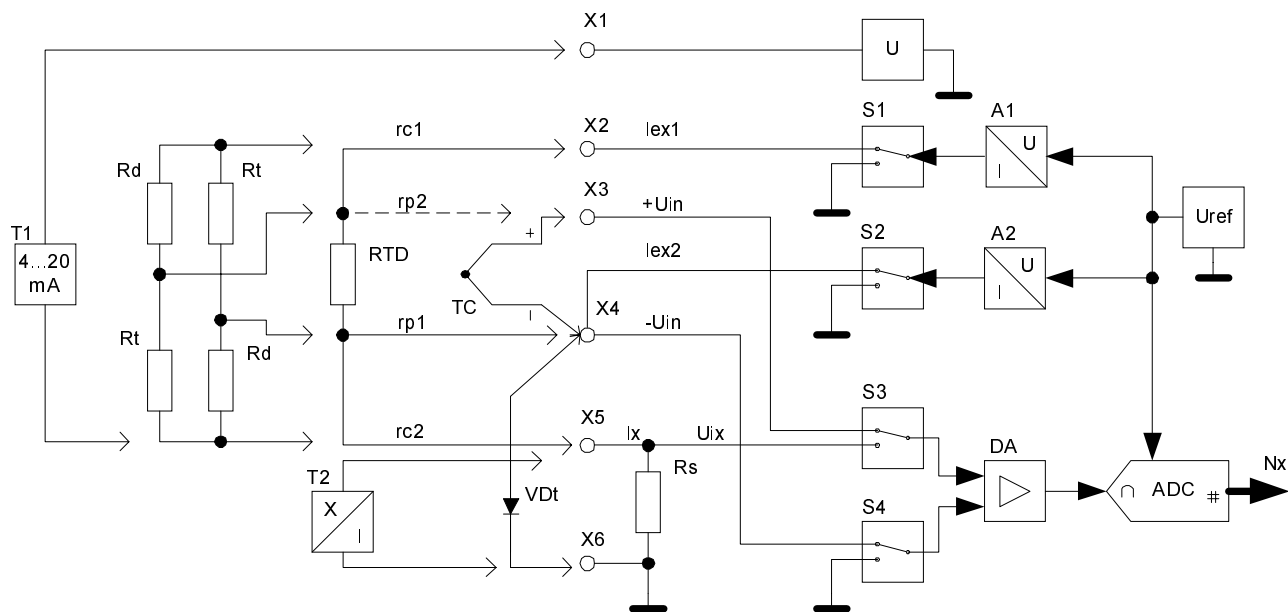


Рис. 2 Вимірювальне коло і варіанти під'єднання вимірювальних перетворювачів різного типу:

$T1, T2$ – перетворювачі фізичної величини в струм; Rd, Rt – резистори тензомоста;
 RTD – терморезистивний перетворювач; rc, rp – опір ліній терморезистивного перетворювача;
 TC – термоелектричний перетворювач; VDt – напівпровідниковий перетворювач температури холодного спаю термоелектричного перетворювача; X – з'єднувальна колодка; Rs – шунт; U – джерело живлення перетворювача фізичної величини в струм споживання; S – електронний перемикач; A – перетворювач напруга – струм;
 DA – диференційний підсилювач із програмованим коефіцієнтом передачі; $Uref$ – джерело зразкової напруги;
 ADC – аналого-цифровий перетворювач; I_{ex} – струм терморезистивного перетворювача; U_{in} – вимірювана напруга; I_x – вимірюваний струм; U_{ix} – напруга на шунті

джерелом вхідної напруги двох перетворювачів напруга-струм $A1$ і $A2$, що мають близькі за значенням вихідні струми. Перетворювач $A1$ формує робочий струм резистивних перетворювачів, а перетворювач $A2$ – компенсуючий струм для резистивних перетворювачів, увімкнених за трипровідною схемою, або струм живлення перетворювача температури холодного спаю. Для забезпечення відмикання перетворювачів $A1$ і $A2$ від вхідних клем застосовано комутатори $S1$ і $S2$. Крім цього, у вимірювальному колі є джерело напруги U для живлення двопровідних перетворювачів зі струмом споживання 4...20 мА і шунт Rs – для забезпечення вимірювання струму. Для під'єднання вимірювальних перетворювачів вимірювальне коло має шість клем $X1...X6$.

Для вимірювання напруги комутатори $S3$ і $S4$ встановлюються у верхнє за схемою положення, а

джерело напруги підключається до затисків $X3$ і $X4$. За допомогою перемикачів $S1$ і $S2$ перетворювачі напруга-струм відмикаються від затисків. Якщо як джерело напруги використано термоелектричний перетворювач TC , то виникає потреба внесення поправки на температуру холодного спаю. Оскільки до вимірювального кола можуть під'єднуватись термоелектричні перетворювачі різних типів, то вносити поправку в аналоговій формі недоцільно через значні апаратні затрати. Рациональнішим є введення додаткового каналу вимірювання температури холодного спаю і внесення поправки під час цифрової обробки результатів вимірювання. У нашому випадку додатковий канал організують, розділяючи в часі процедури вимірювання ЕРС. TC і сигналу з додаткового перетворювача температури холодного спаю. Як додатковий перетворювач може використовуватись

зміщений в прямому напрямку діод VDt або термо-резистивний перетворювач, ввімкнуті між клемми X4 і X6. Живиться додатковий перетворювач від перетворювача напруга-струм A2, підключеного через ключ S2 до клемми X4. Комутатор S3 забезпечує по чергове підключення до ADC термоелектричного перетворювача або додаткового термоперетворювача.

Резистивні перетворювачі можуть підключатись до вимірювального кола за допомогою двох, трьох або чотирьох з'єднувальних провідників. При двопровідному ввімкненні клемми X2 і X3 замикаються монтажною перемичкою, резистивний перетворювач вмикається між клемми X3 та X5, а між клемми X4 і X5 вмикається компенсаційний резистор, опір котрого дорівнює опорі з'єднувальних провідників. Обидва перетворювачі напруга-струм за допомогою перемикачів S1 і S2 підключаються до клем X2 і X4. В результаті на диференційний вхід DA подається різниця спадів напруг на резистивному перетворювачі зі з'єднувальними провідниками і компенсаційному резисторі

$$U_{DA} = (R_{TC} + rc1 + rc2) \cdot I_{A1} - R_k \cdot I_{A2}, \quad (2)$$

де R_{TC} – опір резистивного перетворювача; $rc1$ і $rc2$ – опори з'єднувальних провідників; R_k – опір компенсаційного резистора; I_{A1} і I_{A2} – вихідні струми перетворювачів напруга-струм.

При підключенні резистивного перетворювача за допомогою трьох з'єднувальних провідників, на відміну від двопровідного ввімкнення, до клемми X4 підключається третій провідник з опором $rp1$, що дорівнює опорі провідника $rc1$. Отже, на диференційний вхід DA буде подано напругу

$$U_{DA} = (R_{TC} + rc1 + rc2) \cdot I_{A1} - (rc2 + rp1) \cdot I_{A2}, \quad (3)$$

При підключенні резистивного перетворювача за допомогою чотирьох з'єднувальних провідників перетворювач A2 відмикають від клемми X4 і на вхід DA буде подано напругу, яка дорівнює $R_{TC} \cdot I_{A1}$.

Результат аналого-цифрового перетворення можна записати як

$$N_x = \frac{U_{DA} \cdot K_{DA} \cdot M_{ADC}}{U_{ref}}; \quad (4)$$

де K_{DA} – коефіцієнт передачі диференційного підсилювача; M_{ADC} – коефіцієнт перетворення аналого-цифрового перетворювача.

Зважаючи на те, що $rc1+rc2=R_k$, $rc1=rp1$, $I_{A1}=I_{A2}=K_A \cdot U_{ref}$, для всіх трьох варіантів підключення резистивного перетворювача результат аналого-цифрового перетворення буде дорівнювати

$$N_x = R_{TC} \cdot K_A \cdot K_{DA} \cdot M_{ADC}; \quad (5)$$

Добуток коефіцієнтів K_A , K_{DA} і M_{ADC} не завжди має достатню температурну і часову стабільність. Для усунення впливу цієї нестабільності на результати вимірювання можна періодично виконувати аналого-цифрове перетворення спаду напруги на шунті R_s і визначити опір резистивного перетворювача за виразом

$$R_{TC} = N_x \cdot \frac{R_s}{N_s}; \quad (6)$$

де R_s – дійсне значення опорі шунта; N_s – результат аналого-цифрового перетворення опорі шунта.

У такому разі метрологічні характеристики вимірювання опорі резистивного перетворювача будуть визначатись виключно часовою та температурною стабільностями шунта.

Для вимірювання розбалансу мостового резистивного перетворювача вхід DA підключається до клем X3 і X4, а до клемми X2 підключається перетворювач напруга-струм A1. Мостовий перетворювач вершиною моста підключається до клем X2 і X5, діагоналю – до клем X4 і X4.

Перетворюють в код струм, попередньо перетворивши струм в напругу на шунті R_s . Для цього комутатори S1 і S2 переводяться у нижнє положення, а перетворювач зі струмовим вихідним сигналом T2 підключається до клем X5 і X6. Двопровідні перетворювачі T1 як інформативний вихідний параметр мають струм споживання і потребують живлення від вимірювального кола. Такі перетворювачі підключаються до клем X1 і X5. В результаті їх струм споживання утворює відповідний спад напруги на шунті.

Реалізація

Запропонований вище підхід до побудови універсального контролера технологічних процесів було покладено в основу розробки контролера СК-1500.

Контролер дає змогу вимірювати: постійну напругу в діапазонах ± 2 В, ± 100 мВ, постійний струм в діапазоні від 0 до 24 мА та температуру за допомогою всіх стандартних терморезистивних і термоелектричних перетворювачів в діапазоні їх робочих температур. Клас точності у всіх режимах вимірювання 0.1. Послаблення завад нормального виду з амплітудою, що не перевищує діапазон вимірювання, частотою 50 ± 1 Гц – не гірше за 90 дБ. Результати вимірювання можуть бути піддані лінійному перетворенню. У контролер може бути введено дві уставки сигналізації і значення гістерезису цих уставок. Контролер підтримує регулювання за фіксованою уставкою і уставкою, що змінюється в часі. Для роботи з аналоговими уставками і сигналами зворотного зв'язку в контролері є додатковий вимірювальний канал. Контролер може здійснювати двопозиційне або ПІД – регулювання контрольованого параметра. Вихідний сигнал дискретний – двопозиційний або ШІМ. Габаритні розміри 95 X 95 X 210 мм.

Як обчислювальне ядро було прийнято однокристальний мікроконтролер N80C51GB, оскільки в момент розробки цей мікроконтролер давав змогу реалізувати всі функції з мінімальним апаратним оточенням. Для зберігання параметрів, що задаються користувачем, було застосовано енергонезалежну електрично програмовану пам'ять з послідовним доступом. Вимірювальне коло було побудоване на основі інтегрального аналого-цифрового перетворювача AD7711. Вибір цього АЦП був зумовлений тим, що в ньому інтегровано практично всі функціональні елементи, що зображені на рис. 2.

Функціональна схема взаємодії основних складових частин контролера в базовій конфігурації зображена на рис. 3. Інформативний параметр Q перетворюється в цифровий код, котрий, у разі роботи з термоперетворювачами, піддається функціональному перетворенню. Одержаний у такий спосіб результат піддається лінійному перетворенню, параметри котрого задаються коефіцієнтами А і В. Лінійне перетво-

рення дає можливість перевести значення інформативного параметра перетворювачів з уніфікованим вихідним сигналом у значення відповідної фізичної величини або ввести адитивно-мультиплікативну корекцію результату вимірювання. Результат вимірювання X відображається на головному індикаторі. Під час підготовки контролера до роботи може бути вказано джерело завдання уставки S – зовнішнє або внутрішнє. Зовнішня уставка задається аналоговим сигналом і перетворюється в цифровий код додатковим АЦП. Внаслідок лінійного перетворення, параметри котрого задаються коефіцієнтами A_s і B_s , зміна аналогового сигналу уставки в діапазоні перетворення додаткового АЦП може бути приведеною до потрібного діапазону зміни уставки в одиницях вимірюваної величини. Внутрішня уставка задається з клавіатури на передній панелі контролера або вводиться автоматично контролером з таблиці, котру ввів користувач в енергонезалежну пам'ять. Поточне значення уставки відображається на додатковому індикаторі. Відхилення вимірюваної величини від уставки відображається на лінійному індикаторі, котрий має по десять градацій відліку для відхилень в обидві сторони. Вага однієї градації задається користувачем. Результат вимірювання і уставка передаються в систему визначення значення вихідних сигналів.

Система визначення значення вихідних сигналів складається з підсистеми автоматичного керування та сигналізатора. Підсистема автоматичного керування згідно з параметрами керування, що задаються користувачем, формує вихідний ШІМ-сигнал – у разі ПІД-регулювання або дискретний сигнал – у разі двопозиційного регулювання. Підсистема сигналізації порівнює результат вимірювання зі значеннями уставок і формує відповідні дискретні сигнали. Стан сигналів сигналізації відображається на передній панелі одиничними індикаторами.

Зовнішній вигляд контролера СК-1500 показано на рис. 4.

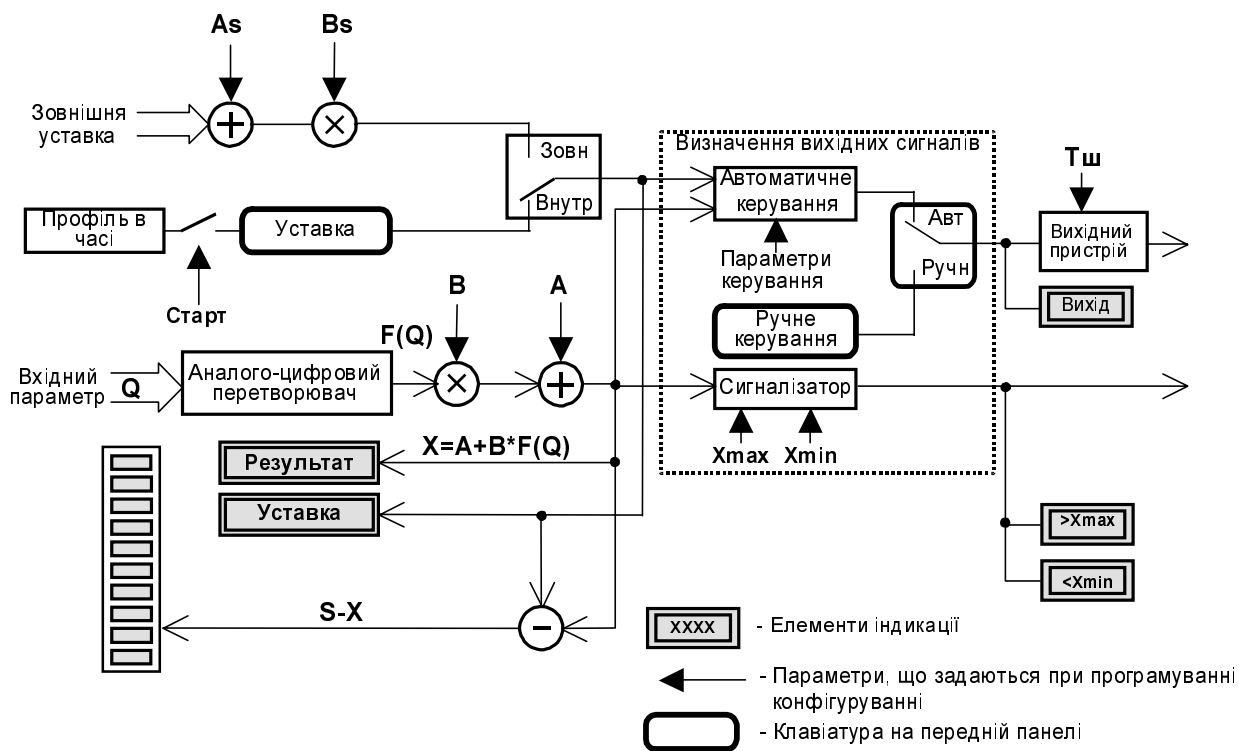


Рис. 3. Функціональна схема контролера СК-1500



Рис. 4. Універсальний контролер СК – 1500

Отже, запропонований підхід до проектування промислових засобів автоматизації та їх практична реалізація підтверджують доцільність створення універсальних вимірювальних контролерів, що дає змогу скоротити номенклатуру засобів автоматизації та зменшити затрати на їх експлуатацію.

1. *The basics of fieldbus. Technical Data Sheet. Fisher-Rosemount Limited.* <http://www.rosemount.com>. 2. *Romilly's*

HART® and Fieldbus Web Site. <http://www.romilly.co.uk>. 3. *PROFIBUS. Technical Description. September 1999. PROFIBUS Brochure - Order-No. 4.002.* 4. *HART® Field Communication Protocol. HART Communication Foundation.* 5. *Endress+Hauser. Industrielle Messtechnik. Katalog 2002.* 6. *Eurotherm. US Product Catalog, Controllers, Indicators and Alarm Units. HA136700.* 7. *H-B Instrument Company. Produkt catalog 2000-2001.* 8. [Http://www.abb.com/ru](http://www.abb.com/ru).

УДК 658.562

МОДЕЛЮВАННЯ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ОБ'ЄКТІВ НЕРУХОМОСТІ

© Петро Столярчук, Віктор Куць, Володимир Юзевич*, 2002

Національний університет "Львівська політехніка", кафедра "Метрологія, стандартизація та сертифікація", вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

*Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, вул. Наукова, 5, 79601, Львів, Україна

Викладено математичну модель оцінювання рівня якості об'єктів нерухомості, зокрема житлових квартир. Розглянуто цільову функцію мети, яка побудована за допомогою функції компромісу між максимальними зручностями і мінімальною ціною квартири.

Целью работы является создание математической модели оценивания уровня качества объектов недвижимости, в частности жилых квартир. Рассмотрена целевая функция цели, которая построена при помощи функции компромисса между максимальными удобствами и минимальной ценой квартиры.

Presented work is aimed to create a mathematical model for immovable quality level evaluation, especially for habitable flats. Criterion functional calculated by means of compromise function between the best conveniences and the lowest price is studied.

Значення потреби покращання методик оцінювання якості нерухомості особливо зростає в сучасних умовах у зв'язку з інтенсифікацією економічних відносин типу купівлі-продажу об'єктів нерухомості, зокрема житлових квартир.

Для оцінки якості нерухомості доволі часто вибирають кваліметричний підхід [1].

Для прикладу використаємо квартири (однокімнатні, 2-кімнатні, 3-кімнатні, 4-кімнатні, 5-кімнатні, 6-кімнатні, особняки). Властивості об'єкта в сукупності являють собою модель об'єкта. Властивість – характеристика, особливість об'єкта, що проявляється під час його придбання та експлуатації [1].

Якість – сукупність всіх тих властивостей, які характеризують отримані при використанні об'єкта результати. Отже, поняття якості в цьому трактуванні тісно пов'язане з поняттям мети [1].

Як і у [1], модель об'єктів нерухомості характеризуємо: показниками якості, деревом властивостей, а також середнім геометричним всіх показників K_0 [2].

Надолік моделей, запропонованих у [1, 2], в тому, що вони не враховують широкий спектр властивостей. Наприклад, для Львова характерні квартири: а) підвищеної комфортності; б) квартири в будинку класу "півлюкс"; в) квартири в будинках класу "люкс". Є ще категорія квартир у п'ятиповерхових будинках, які на-