

## СПЕЦПРОЦЕСОР СИСТЕМИ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ У РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ

© Пуйда В. Я., 2018

Сучасні технічні системи призначені для виконання різноманітних завдань в автоматизованому та автоматичному режимах. Вони функціонують на основі алгоритмів, вхідною інформацією для яких є певні фізичні параметри зовнішнього середовища та вузлів самої технічної системи. Від точності, надійності та оперативності визначення цих параметрів залежить виконання покладеного на систему завдання. Сенсори передають інформацію про параметри зовнішнього середовища та про стан важливих вузлів системи, наприклад, про тиск, температуру зовнішнього середовища чи в трубопроводах відповідних вузлів, про механічні деформації, появу певних газів, диму, вогню, контролюють електричні параметри в кабельних системах щодо перевищення допустимих напруг та струмів, короткого замикання тощо. Залежно від типів параметрів, точності та мінімального часу для їх визначення використовують аналогові чи цифрові сенсори. Цифрові сенсори формують цифровий сигнал про значення відповідного параметра та передають його в телеметричну мережу системи. Використання аналогових сенсорів передбачає високоточне перетворення аналогового сигналу, пропорційного до вимірюваного параметра, на цифровий та формування його відповідно до стандарту телеметричної мережі системи. При цьому для підвищення точності вимірювання необхідно враховувати індивідуальну характеристику відповідного аналогового сенсора.

Наведено варіант спецпроцесора для автоматичного контролю параметрів на основі інформації, яка надходить від аналогових та цифрових сенсорів і використовується технічною системою в реальному часі.

Ключові слова: спецпроцесор, сенсори температури, сенсори тиску, дисплей, цифрові інтерфейси.

V. Puyda

Lviv Polytechnic National University,  
Computer Engineering Department

## SPECIAL PROCESSOR FOR OPERATIVE CONTROL OF PARAMETERS IN REAL TIME

© Puyda V., 2018

Modern technical systems can solve various problems in the automated mode with or without human interactions. They use algorithms that require certain physical parameters of the environment and the system itself as the input data. The success of solving such problems heavily depends on precision and reliability of such parameters that must reflect the most recent state of the system. The information about parameters of the environment and the current state of the system itself like pressure, temperature of the environment or specific elements of the system,

mechanical deformations, presence of certain gases, smoke or fire detection, monitoring of electricity parameters to avoid overvoltage or short circuits etc. are passed to the system using the sensors. Analog or digital sensors can be used depending on types of the parameters, the required precision and the maximum measurement time. Digital sensors produce the digital signal reflecting the parameter values and pass this signal to the telemetric network of the system. Usage of analog sensors requires the precise transformation of the analog signal, which is proportional to the parameter values, to the digital signal that must be formed according to the standards of the telemetric network of the system. To increase the precision of measurements, individual characteristics of analog sensors must be taken into account.

In this paper, a special processor for automated monitoring of parameter values obtained from analog and digital sensors for real-time usage by a technical system is presented.

**Keywords:** special processor, temperature sensors, pressure sensors, screens, digital interfaces.

### **Вступ**

Складна структура та завдання, які вирішують сучасні технічні системи, потребують оперативного контролю параметрів усіх компонентів цих систем. Складні технічні системи функціонують на основі закладених алгоритмів та певної вхідної інформації. Надійність функціонування таких систем залежить від певних параметрів, наприклад, зовнішнього середовища та параметрів певних внутрішніх вузлів. Контроль повинен відбуватися у всіх режимах функціонування технічної системи. У випадку виходу контрольованих параметрів за допустимі межі можуть виникати критичні ситуації у функціонуванні системи і повинно прийматися рішення про зміну режиму її функціонування. Контроль за параметрами покладається на так звані інформаційно-вимірювальні системи, які входять до складу технічної системи у вигляді спеціалізованих апаратно-програмних компонентів. Самі ці компоненти також мають вбудовані засоби самодіагностики. Все це підвищує надійність функціонування сучасних складних технічних систем.

### **Аналіз останніх публікацій**

Теорія і практика проектування інформаційно-вимірювальних систем різного призначення ґрунтується на нових теоретичних і технологічних досягненнях у галузі розроблення нових сенсорів та методів оброблення первинної інформації і викладені в багатьох фундаментальних публікаціях, наприклад, [1, 2]. Для досягнення необхідних параметрів під час розроблення сучасних технічних систем пропонуються нові підходи до аналізу інформації та прийняття рішень, наприклад, використання методів штучного інтелекту [3].

### **Постановка завдання**

Розробити структуру спецпроцесора для оперативного контролю в реальному часі параметрів технічної системи на основі інформації з аналогових та цифрових сенсорів. Забезпечити можливість оброблення первинної інформації від сенсорів, відображення візуальної інформації, обміну з телеметричними компонентами технічної системи та переорієнтацію на різні задачі зміною алгоритмів без зміни апаратної платформи.

### **Основні матеріали досліджень**

Для оперативного контролю в реальному часі різноманітних параметрів технічної системи запропоновано структуру спецпроцесора (рис. 1). Реалізований спецпроцесор зображено на рис. 2. Спецпроцесор являє собою двопроцесорну структуру в складі центрального та комунікаційного процесорів. Центральний процесор виконує основні функції із збирання та опрацювання інформації від різноманітних сенсорів. Комунікаційний процесор забезпечує обмін інформацією з телеметричними компонентами технічної системи. Це дає змогу розпаралелити функції оброблення інформації від сенсорів та обміну інформацією, що відповідно підвищує загальну продуктивність спецпроцесора, зменшує час реакції при виході контрольованих параметрів за допустимі межі і відповідно підвищує загальну надійність технічної системи.

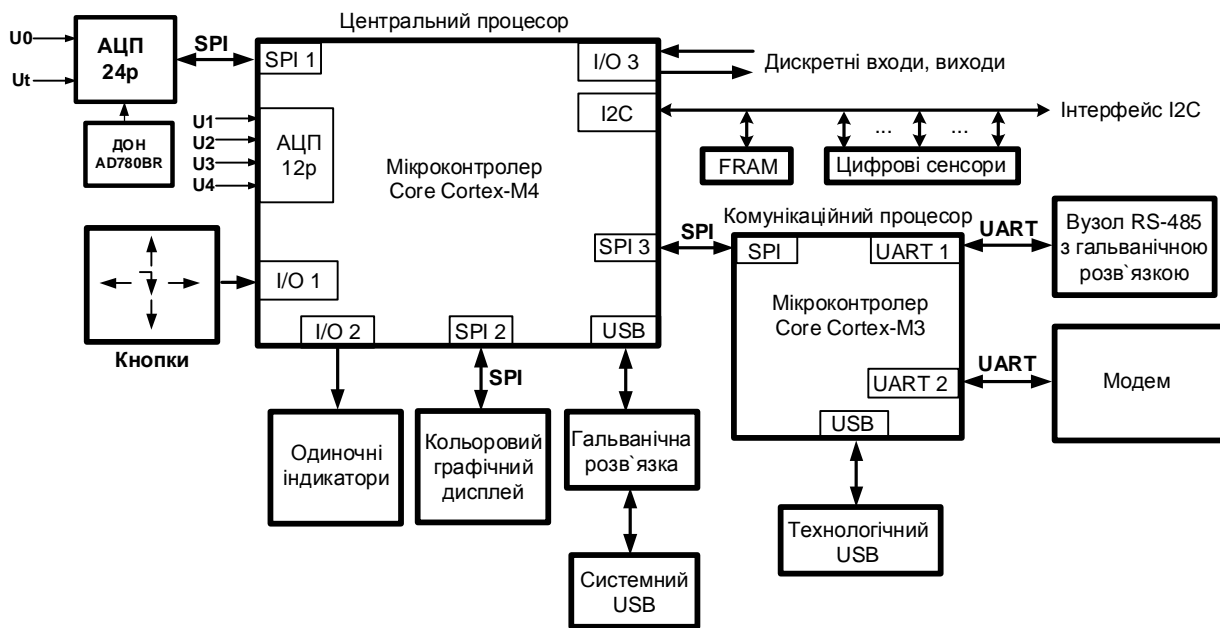


Рис. 1. Структурна схема спецпроцесора

Центральний процесор спроектований на базі мікроконтролера з ядром Cortex-M4 [4] із вбудованим апаратним вузлом оброблення чисел з плаваючою комою (FPU). Система команд типу RISC підтримує також операції типу DSP (оброблення сигналів). Все це значно підвищує продуктивність і забезпечує оброблення інформації від сенсорів та контроль параметрів на допустимі межі в реальному часі. Контролер має розвинуту систему інтегрованих вузлів та різноманітних інтерфейсів: синхронні SPI та I2C, паралельні I/O та USB, які використовуються для підключення аналогових та цифрових сенсорів, органів керування та відображення, обміну інформацією з комунікаційним процесором, конфігурації спецпроцесора. Аналогові сигнали перетворюються на цифровий код за допомогою високоточного зовнішнього сигма-дельта «АЦП 24р» та інтегрованого «АЦП 12р». Вузол «АЦП 24р» використовує зовнішнє джерело опорної напруги «ДОН», що забезпечує високу точність та стабільність аналого-цифрового перетворення сигналів. Цифрові сенсори підключаються через вузли «Дискретні входи» та «Інтерфейс I2C». Органи керування «Кнопки» та «Дискретні входи» використовують паралельні порти «I/O». Відображається візуальна інформація через «Кольоровий графічний дисплей», підключений до одного з портів SPI та «Одиничні індикатори» на базі світлодіодів, підключених до паралельного порту «I/O». Порт «Системний USB» спроектовано на базі інтегрованого порту USB та підключено

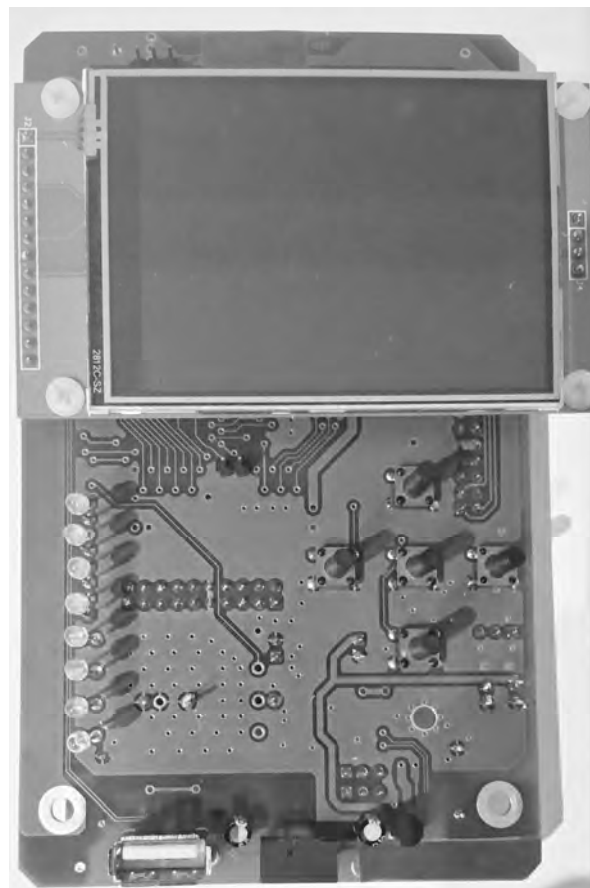


Рис. 2. Фронтальне фото вузла спецпроцесора з кольоровим графічним дисплеєм

до одного з портів SPI та «Одиничні індикатори» на базі світлодіодів, підключених до паралельного порту «I/O». Порт «Системний USB» спроектовано на базі інтегрованого порту USB та підключено

через вузол «Гальванічна розв'язка». Порт USB використовується для конфігурації спецпроцесора в процесі функціонування та для технологічних цілей на стадії виробництва.

Комунікаційний процесор спроектовано на базі мікроконтролера із ядром Cortex-M3 [4]. Він призначений для підключення до телеметричних каналів технічної системи через стандартний інтерфейс RS-485 із гальванічною розв'язкою для обміну за заданим протоколом, наприклад, «Modbus», а також через вузол «Модем» за відповідним протоколом. Обмін інформацією між ним та центральним процесором здійснюється через інтерфейс SPI, що забезпечує високу швидкість каналу передавання.

Обидва мікроконтролери мають інтегровану на кристалі пам'ять програм типу Flash із режимом захисту від несанкціонованого доступу та інтегровану оперативну пам'ять. Крім цього, до мікроконтролера центрального процесора через інтерфейс I2C підключено швидкодіючу пам'ять типу FRAM, яка забезпечує довготривале збереження оперативної інформації при виключеному живленні.

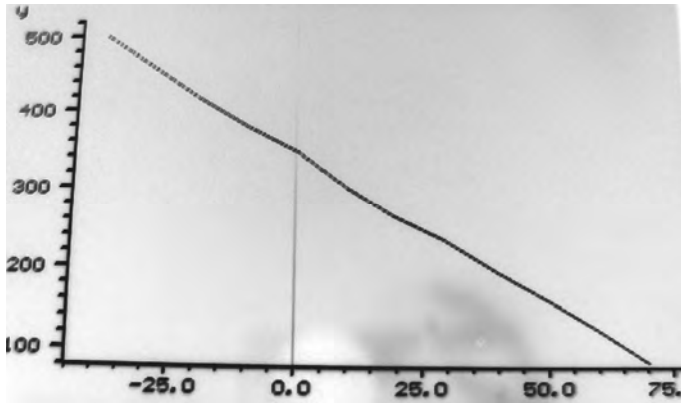


Рис. 3. Приклад характеристики тензосенсора при температурі 20 °C

Програмування, тестування та інші технологічні операції комунікаційного процесора на стадії виробництва здійснюються через порт «Технологічний USB».

Первинна інформація, що надходить від сенсорів, вимагає відповідного перетворення. Як правило, сенсори мають нелінійну характеристику, яка ще й залежить від зовнішніх параметрів, наприклад, від температури та вологості зовнішнього середовища, самого фізичного носія тощо. Тому в програмах центрального процесора закладено певні алгоритми оброблення вхідної інформації, визначення допустимих меж та критичних значень тощо. Як приклад

розглянемо температурну корекцію характеристики сенсора (рис. 3) для вимірювання тиску в трубопроводі певної технічної системи.

Сенсор тиску побудований на основі тензометричного перетворювача (тензорезистора), включеного в міст Вітстона (рис. 4), на який подається напруга із джерела опорної напруги (REF+, REF-).

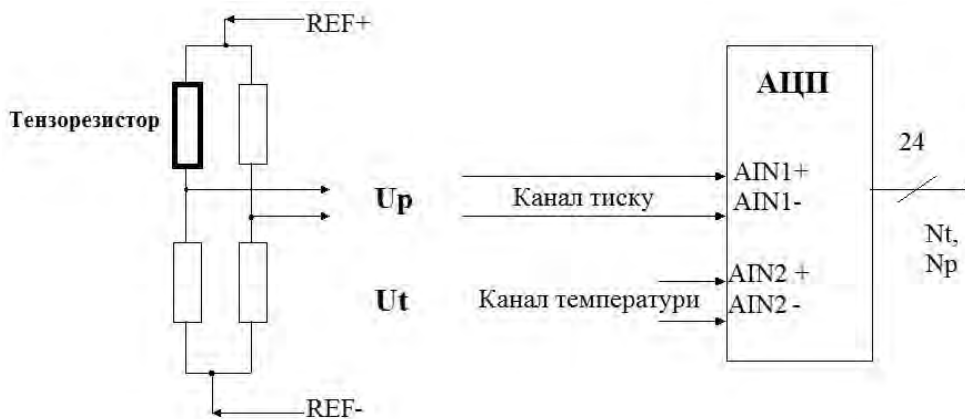


Рис. 4. Сенсор тиску на основі тензометричного перетворювача

Напруга розбалансу моста ( $U_p$ ), яка змінюється у разі деформації тензорезистора, подається на диференціальні входи АЦП AIN1+, AIN1-. Аналого-цифровий перетворювач (АЦП) формує цифрові значення  $N_p$  з сенсора тиску. Якщо не вимагається температурної корекції характеристики, то для обчислення реального значення тиску необхідно знайти аналітичний вираз функції  $P_x = F1(N_p)$ . Знаючи реальну характеристику сенсора, апроксимацією функції за її табличними значеннями  $N_p$  можна визначити аналітичний вираз для функції  $F1$ , де  $x=N_p$ ,  $y=P_x$  (рис. 5).

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4 + a[5] \cdot x^5 + a[6] \cdot x^6 + a[7] \cdot x^7 + a[8] \cdot x^8 + a[9] \cdot x^9$$

$a[0] = 343.617255$   
 $a[1] = -3.9612367$   
 $a[2] = -0.0327895$   
 $a[3] = 0.0008157$   
 $a[4] = 0.0000575$   
 $a[5] = -1.17117E-0006$   
 $a[6] = -2.37287E-0008$   
 $a[7] = 5.20850E-0010$   
 $a[8] = 1.13320E-0012$   
 $a[9] = -4.12225E-0014$

Рис. 5. Результати апроксимації характеристики сенсора тиску

Якщо необхідно врахувати вплив температури зовнішнього середовища чи носія в трубопроводі (залежно від системи), то додатково використовують температурний сенсор. На входи AIN2+, AIN2- подається напруга ( $U_t$ ) із сенсора температури. АЦП формує цифрові значення  $N_p$ ,  $N_t$  відповідно із сенсорів тиску та температури. Для обчислення реального значення тиску за заданої температури необхідно знайти аналітичний вираз функції  $P_x = F2(N_p, N_t)$ . Для цього використовуються математичні методи апроксимації функції за її табличними значеннями, які визначають експериментально для конкретного сенсора в певному діапазоні температур. Для визначення аналітичного виразу функції **F2** можна використати відповідні стандартні програмні засоби. На рис.6 показано використання спеціалізованого пакета DataFit, де  $X_1$  та  $X_2$  відповідно  $N_t$  та  $N_p$ . Аналітичний вираз показано у вікні «Equation», коефіцієнти відповідно в полі «Variable» та «Value».

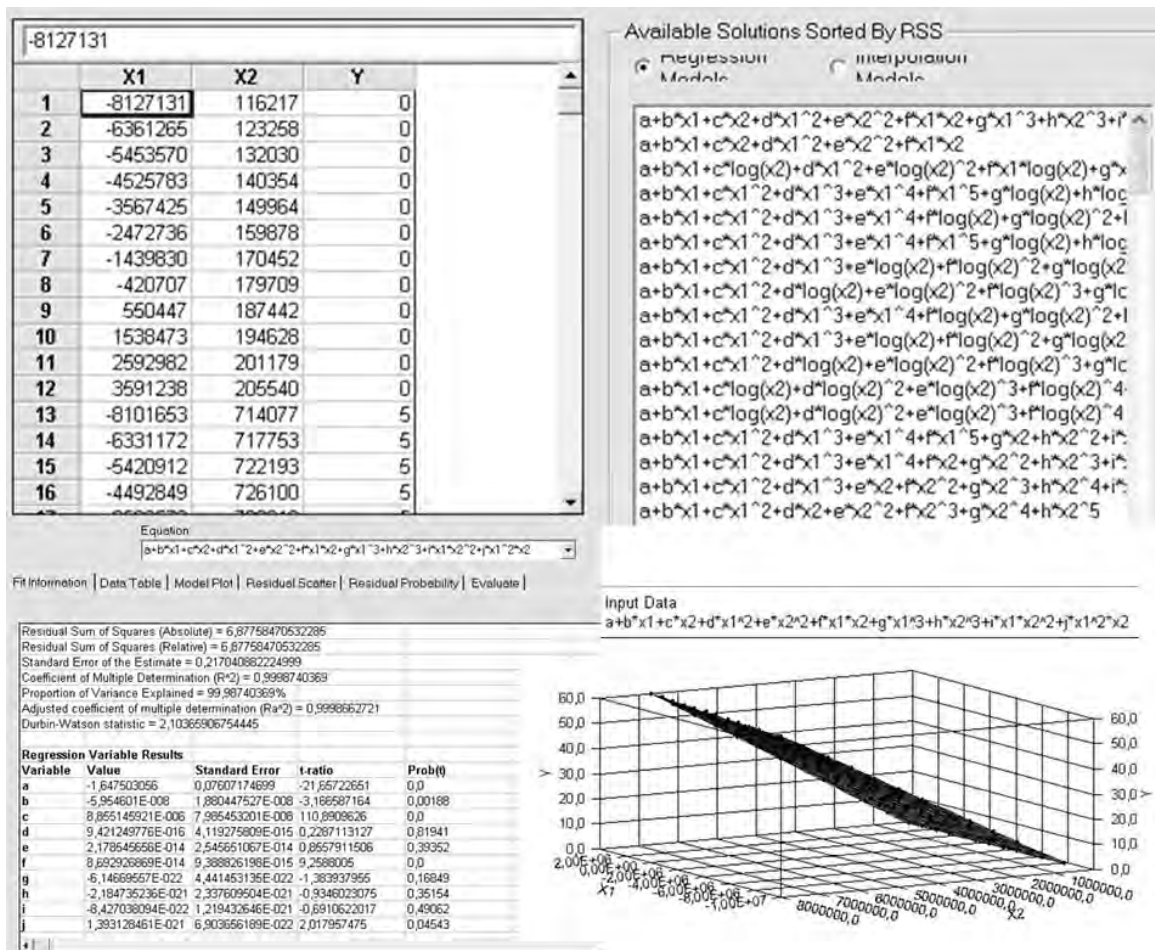


Рис. 6. Результати апроксимації характеристики сенсора із врахуванням температурної корекції

Отримані аналітичні вирази використовують для визначення реального значення тиску в трубопроводі із врахуванням температурної корекції. Це суттєво підвищує точність вимірювання  $P_x$  і відповідно – надійність підсистеми оперативного контролю параметрів.

### **Висновки**

Запропонована структура спецпроцесора для оперативного контролю в реальному часі різноманітних параметрів технічної системи складається з центрального та комунікаційного процесорів. Процесори реалізуються на мікроконтролерах ARM із ядром Cortex-M4 та Cortex-M3 відповідно. Залежно від призначення технічної системи можна використовувати необхідні сенсори, а функціонування спецпроцесора може бути переорієнтоване на різні задачі зміною алгоритмів центрального та комунікаційного процесорів без зміни апаратної платформи. Запропоновану структуру реально реалізовано та використано у відповідних технічних системах.

*1. V. Babak. Theoretical Fundamentals of information measurement systems. Second edition, revised and supplemented. Textbook. Edited by Member of the National Academy of science of Ukraine. Kyiv, 2017, 293–325. 2. Applied Measurement System / Edited by Md. Zachurul Had. – In Tech, USA, 2012. 3. A. Gulin, T. Mamedova, V. Rishkin, Y. Shamaev . Principles intellectualization informatively of measurings systems. Kharkiv National Air Force University, Collection of scientific works, 2017, 3(52),102–106. 4. ARM Cortex-M [Electronic resource] / wiki. – Access mode: [https://en.wikipedia.org/wiki/ARM\\_Cortex-M](https://en.wikipedia.org/wiki/ARM_Cortex-M).*