

СИСТЕМА ДЛЯ ТЕНЗОМЕТРИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НА БАЗІ МОДУЛІВ «ARDUINO»

Лисенко Володимир Валерійович,

доцент

Національний технічний університет «Харківський
політехнічний інститут», Україна

Розвиток новітніх технологій в сучасному світі привів к появі нових конструкційних матеріалів і елементів конструкцій. Використання таких матеріалів і елементів конструкцій з них, потребує визначення їх механічних властивостей у умовах простого та складного напружених станів, при статичному, динамічному чи циклічному навантаженні. Суттєву допомогу в вирішенні цих задач дає застосування вимірювальних систем для тензометричних досліджень [1].

Методи тензометрії базуються на вимірюванні деформацій у зовнішніх шарах деталі переважно за допомогою тензодатчиків та вимірювально-реєструвальної апаратури.

З урахуванням наявності і доступності на ринку України сучасної елементної бази пропонується створення універсального експериментального стенду, який відповідає багатьом вимогам проведення відповідних вимірювань. При проектуванні даної системи особливу увагу було приділено використанню модулів з родини Arduino, які дозволяють швидко і дешево створити достатньо функціональні інформаційно-вимірювальні системи.

Для підключення тензодатчиків використовуємо модуль HX711 з 24-х бітним двоканальним аналого-цифровим перетворювачем який має вихідний інтерфейс – I2C. Максимальний розмах напруги на диференціальних входах становить $\pm 40\text{мВ}$ або $\pm 20\text{мВ}$, залежно від виставленого коефіцієнта підсилення. Час вимірювання – 12,5 мс.

У зв'язку з необхідністю достатньо великої кількості портів для підключення модулів, забезпечення високої швидкодії і функціональності у якості плати мікроконтролера з будованим перетворювачем інтерфейсу, елементами вторинного живлення і інше, було вибрано контролер Arduino Mega 2560 Rev3. На платі встановлено мікроконтролер ATmega2560 - 16AU, який має 54 цифрові входи/виходи, 16 аналогових входів і працює на тактовій частоті 16 МГц. Мікроконтролер має флеш-пам'ять 256 Кб і 8 Кб SRAM.

У зв'язку з необхідністю забезпечення відображення незначного об'єму вимірювальної і службової інформації, до складу системи входить 16x2 LCD модуль з блакитним підсвічуванням екрану і з 6 кнопками (з них 5 призначені для користувача, 1 – Reset). Контролер – мікросхема HD44780.

Структурна схема тензометричної вимірювальної системи побудована відповідно до вимог забезпечення вимірювання параметрів пов'язаних з деформацією зовнішнього шару дослідного зразка у місцях розташування 15

тензорезисторів, автоматичного управління процесом вимірювання, відображення і передачі вимірюваних даних показана на рисунку 1.

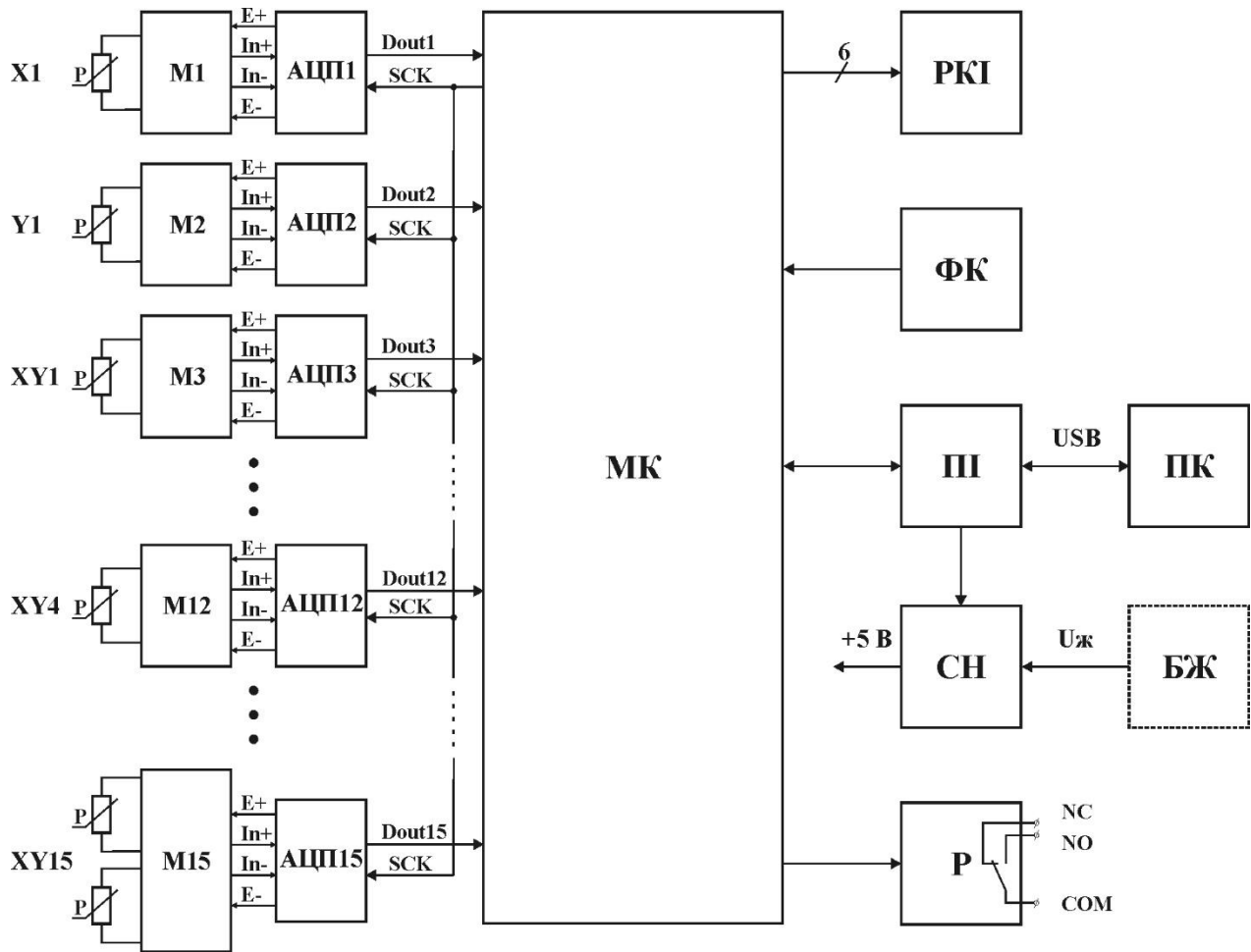


Рисунок 1 – Структурна схема системи для тензометричних досліджень.

Система складається з наступних елементів: тензорезисторів згрупованих у розетки для вимірювань деформації по каналах X1,Y1,XY1... XY5, які підключені до мостів M1-M15. При цьому застосовані чвертьмостові схеми (з одним тензорезистором) включення для 4-х розеток і напівмостова схема – для п'ятої розетки (два по тензорезистора). Живлення мостів (E+, E-) здійснюється від модулів аналого-цифрових перетворювачів АЦП1-АЦП15, які виконують функції перетворення диференціальних значень вихідної напруги моста (In+, In-) в цифровий код. З метою підвищення швидкодії вимірювань запуск АЦП і послідовна видача кодів Dout виконується одночасно для всіх АЦП за сигналом стробування SCK. Мікроконтролер МК забезпечує програмне виконання операцій вимірювання, обробки і передачі інформації, тестові операції та інше. РКІ – рідкокристалічний індикатор, що призначений для відображення вимірювальної і сервісної інформації. Функціональна клавіатура ФК призначена для задавання режимів роботи системи, вибору номера розетки для якої на РКІ буде відображатися вимірювальна інформація і для встановлення «нульових значень». Перетворювач інтерфейсу ПІ забезпечує апаратну реалізацію USB

інтерфейсу між МК і персональним комп'ютером ПК при виконанні операцій програмування МК і передачі даних. Реле Р призначено для подальшого розвитку можливостей системи в плані автоматизації проведення вимірювань при динамічному чи циклічному навантаженні. Для підключення додаткових пристроїв реле має один набір контактів NC і NO. Живлення всіх модулів системи забезпечується від персонального комп'ютера по USB або зі зовнішнього блока БЖ (при автономній роботі) +9–12 В через вбудований стабілізатор напруги СН.

На початку проектування системи був зроблений вибір первинних вимірювальних перетворювачів – тензорезисторів. З наявних в Україні, які відповідають вимогам технічного завдання і доступними за ціною були вибрані сенсори деформації (тензорезистори) BF350-3AA, які мають наступні технічні характеристики:

- номінальний опір: 350 Ом;
- коефіцієнт чутливості: 2,0 – 2,20;
- точність: 0,02 Ом;
- розміри: 7,1 мм x 4,5 мм.

Найбільш поширеним вимірювальним ланцюгом для тензорезисторів є мостова схема включення. Напруга живлення визначається допустимим струмом (5 – 20 мА), опором тензорезисторів і складає в своїй більшості від 2 до 12 В. Вихідний сигнал моста з дрітними тензорезисторами (коефіцієнт чутливості 2,0) складає 10 – 50 мВ при деформації $\varepsilon_l = 1\%$ [1].

В системі до застосування запропоновано два варіанти вимірювальних мостових схем, які показані на Рисунку 2.

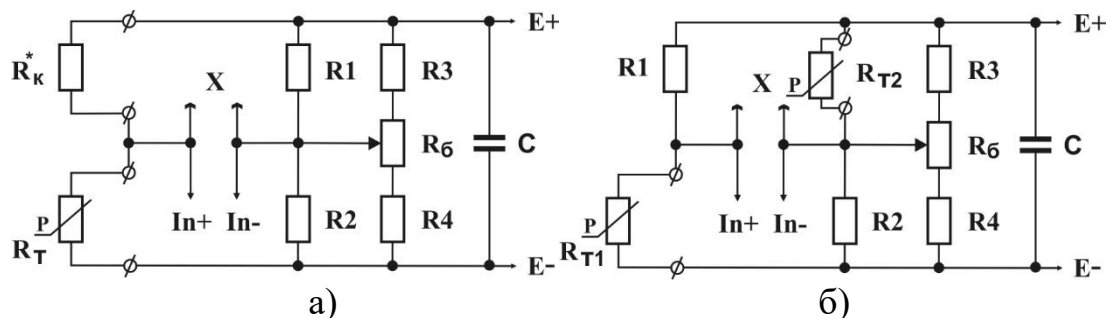


Рисунок 2 – Мостові вимірювальні схеми
(а – чвертьмостова, б – напівмостова).

При застосуванні одного тензорезистора у вимірювальному ланцюгу використовується чвертьмостова схема (а). Живлення мосту забезпечується подачею напруги у точці E+, E-. При застосованні модулів на базі мікросхеми НХ711 ця напруга складає 4,4 – 4,6 В. Тензорезистор R_т підключається до нижньої ланки мосту, до верхньої ланки мосту підключається компенсаційний резистор R^{*}_к. Опір цього резистора повинен відповідати опорі R_т. Для поліпшення температурної компенсації вимірювальної схеми можливо підключення замість резистора R^{*}_к тензорезистор з опором R_т, якій не отримує механічних деформацій.

При значенні напруги живлення 4,4 – 4,6 В і опору R_T і R_K – 350 Ом значення струму через тензорезистор буде в діапазоні 6,2 – 6,6 мА. Такий струм приводить до розсіювання на тензорезисторі потужності, приблизно 15 мВт, що не приводить до його суттєвого нагріву.

Друга діагональ мосту складається з основних резисторів R_1 і R_2 (опір – 2 кОм) і додаткових – R_3 , R_4 (опір – 10 кОм) і балансувального багатообертового R_5 (200 Ом). Для підвищення завадостійкості, до точок подачі напруги живлення підключений блокувальний керамічний конденсатор – С (47 нФ).

Вихідний сигнал мосту вимірюється у точках $In+$ і $In-$. У цих точках також розміщено 2-х контактний роз'єм штирьового з'єднання - Х. Цей роз'єм застосовується при підключенні до мосту зовнішнього мілівольметра при проведенні налагодження або ремонту системи.

Напівмостова схема підключення (б) застосовується для підвищення рівня вихідного сигналу у 2 рази при підключенні двох тензодатчиків в одному напрямку механічної дії – деформації. При цьому номінали резисторів R_1 і R_2 повинні відповідати номінальному опору тензорезисторів.

До програмного забезпечення системи входять наступні компоненти: робоча програма для МК, драйвер CH341 (USB=>SERIAL chip) V3.1 і програма на ПК для прийому, відображення і реєстрації вимірювальних даних.

Керування режимами роботи: програмне встановлення «нуля», вибір номерів розеток вимірювальних каналів, запуск «швидких» вимірювань здійснюється за допомогою функціональної клавіатури.

Для зменшення часу вимірювань в режимі динамічних або циклічних навантажень отримання вимірювальної інформації проходить за кілька етапів: проведення 200 вимірювань - одночасне опитування модулів АЦП і запис масиву кодів вимірювальних даних в ОЗП МК, після цього обробка і передача даних до ПК. При цьому забезпечується передача масиву експериментальних даних, що складається з 200 рядків (загальна кількість відліків) і 15 стовпців (кількість оброблюваних тензорезисторів).

При використанні тензометричної системи було експериментально визначено деформований стан тришарових композитних пластин при статичному та ударному навантаженні. Універсальність і модульність побудови системи дозволяє її використання при проведенні різноманітних експериментів в наукових дослідженнях і дає можливість також задіяти цю систему при проведенні навчального процесу.

Список літератури:

1. Експериментальні методи в механіці деформівного твердого тіла : електронне мережне навчальне видання / В. О. Стрижало, М. В. Бородій. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 306.