

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КОНОТОПСЬКИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра електронних
приладів і автоматики

Кваліфікаційна робота бакалавра
**АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ ЗБОРУ ДАНИХ ТА ОБРОБКИ ДАНИХ НА
БАЗІ МІКРОКОНТРОЛЕРА**

Студента гр. ЕІ-81_к

А.А. Биркун

Науковий керівник,
к.ф.-м.н., доцент

І. П. Бурик

Конотоп 2022

РЕФЕРАТ

Об'єктом дослідження кваліфікаційної роботи бакалавра є автоматична система збору та обробки аналогових даних на основі мікроконтролера AT90S8535.

Мета роботи є створення керуючого пристрою (програмного) призначеного збору та обробки даних, а також вивчення архітектури мікроконтролерів фірми ATMEL серії AVR та їх програмування в середовищі налагоджування програм AVRStudio.

При виконанні проекту використовувалися положення теорій автоматичного керування, систем збору та обробки аналогових даних, датчиків неелектричних величин, мова програмування ASSEMBLER, документація по мікроконтролеру AT90S8535, середовище налагоджування програм AVRStudio, а також математично описано типові структури систем збору та обробки аналогових даних.

Робота складається із вступу, трьох розділів основної частини та висновків. У першому розділі наведено огляд основних характеристик та особливостей роботи мікроконтролера AT90S8535. У другому розділі розглядаються методики програмування мікроконтролерної системи, розрахунку та моделювання характеристик електронного навантаження. Третій розділ містить розроблену структурну схему пристрою, електричні схеми її окремих компонентів, розглянуто експлуатаційні параметри та особливості використання.

Робота викладена на 35 сторінках, у тому числі включає 16 рисунків та 2 таблиці, список цитованої літератури із 38 джерел та два додатки.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МІКРОКОНТРОЛЕРИ AVR, АВТОМАТИЧНА СИСТЕМА ЗБОРУ ТА ОБРОБКИ ДАНИХ, АНАЛОГОВИЙ СИГНАЛ, ТЕНЗОМЕТР

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ХАРАКТЕРИСТИК МІКРОКОНТРОЛЕРА AT90S8535 ...5	5
1.1. Загальна структура мікроконтролерів.....	5
1.2. Особливості мікроконтролерів AVR.....	7
1.3. Структура та характеристики мікроконтролера AT90S8535.....	9
1.4. Периферійні пристрої.....	16
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА І ТЕХНІКА ЕКСПЕРИМЕНТУ	18
2.1. Методика програмування мікроконтролерного регулятора	18
2.2. Розрахунок параметрів електронного навантаження.....	19
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ	22
3.1. Схема мікроконтролерної системи.....	22
3.2. Характеристики датчиків та елементної бази.....	23
3.3. Характеристики операційного підсилювача.....	28
ВИСНОВКИ	30
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	31
ДОДАТОК А. СИНТАКСИС ПРОГРАМНОГО КОДУ	34
ДОДАТОК А . ПРЕЗЕНТАЦІЯ ДО РОБОТИ	35

ВСТУП

Поява нових засобів та технологій обробки даних дозволило істотно розширити функціональні можливості в системах автоматизації. Це надає можливість ефективно вирішувати поставлені задачі на різних рівнях, які починаються від керування окремими вузлами та пристроями й закінчуються керуванням технологічними установками та цілим виробництвом. У системах автоматизації застосовуються різні засоби реалізації алгоритмів керування. Так у процесі розвитку електронних технологій, системи керування, побудовані на контактено-релейних схемах, замінювалися системами автоматичного керування побудованими на логічних елементах. Поряд з цим надійні системи керування, які задовольняють сучасним вимогам, будуються на мікроконтролерах [1-5].

Автоматизація виробництв та технологічних процесів, забезпечення рентабельності а продуктивності обладнання потребують систем детектування фізичних величин. Для організації збору даних із датчиків використовується мікроконтролерна система, за допомогою якої здійснюється управління відповідних процесів. Мікроконтролер (МК) та детектор з'єднуються через шину обробки даних. Остання здійснює такі функції як посилення та фільтрацію сигналу, його нормування, придушення синфазних та інших перешкод. Також в шині даних проводиться нелінійна обробка сигналу з метою лінеаризації характеристики детектора та приведення аналогового сигналу до виду, придатного для подальшої адресації в аналого-цифровий перетворювач (АЦП) мікроконтролерної системи [6-20].

В даній роботі розроблено двоканальний пристрій узгодження, розраховано усі необхідні параметри пристрою і шляхом моделювання оцінено працездатність системи. Вона має високу інтеграцію та універсальність, модернізаційний запас, стабільність роботи та високу швидкодію.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ХАРАКТЕРИСТИК МІКРОКОНТРОЛЕРА AT90S8535

1.1. Загальна структура мікроконтролерів

Заснована в 1984 році, фірма “Atmel Corp.”(США) на даний момент є одним з визнаних лідерів в області виробництва широкого спектра МК компонентів: мікросхем енергонезалежної пам'яті, МК загального призначення та мікросхем програмувальної логіки. Мікроконтролери ATMEL мають велику популярність. Вони приваблюють досить вигідним співвідношенням різних показників, доступністю апаратно-програмних платформ і широкою номенклатурою чипів [2].

Тому розробка автоматичних систем керування на основі мікроконтролерів фірма ATMEL та "інтелектуалізація" пристроїв, включаючи і пристрої, що виконують найбільш прості функції: вимірювальні датчики, виконавчі пристрої, засоби сигналізації є актуальною задачею на даний час .

З часів появи перших МК у 1970-х роках їх продуктивність постійно зростає за рахунок появи нових апаратно-програмних рішень. Так поступово виникла архітектура CISC (комп'ютери зі складним набором команд). Далі почався активний розвиток другого напрямку: архітектура RISC (комп'ютери зі скороченим набором команд). До архітектури RISC відносяться мікроконтролери AVR компанії Atmel [4,5]. Перевага RISC є в тому що вони вирізняються своєю простотою та швидкодією.

Усі МК побудовані за одною схемою, що зображена на рис. 1.1 Система керування складається з лічильника команд та пристрою декодування (виконує зчитування та декодування команд із пам'яті програм). Операційний пристрій відповідає за виконання арифметичних та логічних операцій. Інтерфейс введення/виведення дозволяє обмінюватися даними з периферією та інше. Пристрій запам'ятовування потрібен для збереження коду програми та даних [1]

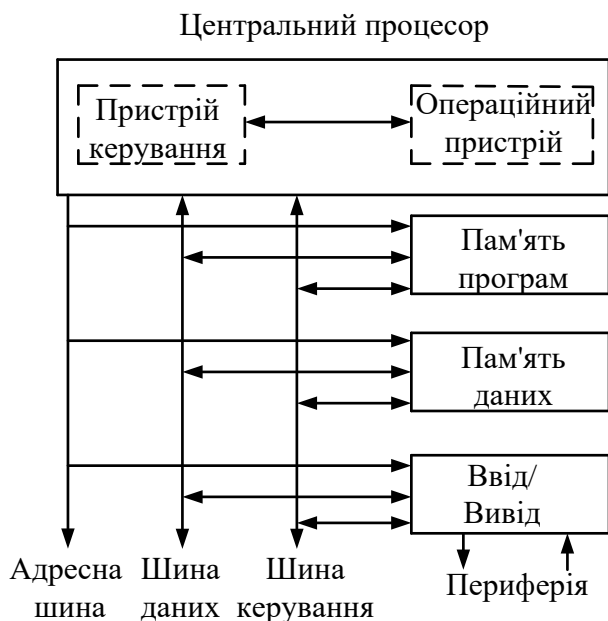


Рис. 1.1. Загальна структура мікроконтролера з архітектурою RISC [1]

RISC-мікроконтролери з удосконаленою архітектурою мають ефективні апаратно-програмні ресурси для вирішення ряду задач. Висока ефективність таких МК забезпечується розвинутою системою команд, що виконуються, як правило, за один робочий такт, апаратною реалізацією багатьох стандартних функцій (таймери, компаратор, АЦП, широтно-імпульсні модулятори (ШІМ), паралельні та послідовні порти введення/виведення та ін.) та можливістю запису програм і даних в пам'ять безпосередньо в працюючому пристрої [1-7].

Ці мікроконтролери характеризуються економним споживанням електричної енергії, невисокою вартістю при досить значному функціоналі, високою швидкістю та можливістю багаторазового перезапису програмного коду. Хоча і подібні за характеристиками МК випускаються багатьма іними фірмами [9-12], але за загальним комплексом властивостей сімейства мікроконтролерів AVR – вони одні з найбільш ефективних в класі недорогих 8-розрядних мікроконтролерів. Основна область застосування таких МК в системах автоматизації – реалізація в реальному масштабі часу алгоритмів керування, що не потребують складних обчислювальних процедур [9-12].

1.2. Особливості мікроконтролерів AVR

"Інтелектуальні" технічні засоби виконують безліч допоміжних досить складних алгоритмів перетворення даних при відносно невисоких додаткових витратах. Ця функціональна надлишковість дозволяє використовувати одні технічні засоби при вирішенні різних задач. Цифрова система керування може бути незалежною локальною системою або інтегрованою, як елемент у багаторівневу систему. Функції елементів системи керування визначаються наступним чином [13-16]:

- вхідний інтерфейс – прийом та перетворення сигналів від датчиків у формат, зручний для подальшої обробки;
- вихідний інтерфейс – перетворення вихідних даних системи у сигнали керування виконавчими пристроями;
- контролер – основний елемент системи керування, який реалізує алгоритми керування та обробку даних відповідно до поставленого завдання, потоку даних вхідного інтерфейсу, керуючих команд пульта керування та інтерфейсу обміну з іншими засобами керування;
- пульт керування та індикації – засоби керування та відображення даних про параметри та режими роботи для оператора об'єкту керування;
- інтерфейс обміну даними – засоби організації взаємодії та координації роботи системи управління з іншими засобами керування, в локальних системах керування необов'язковий, але, як правило, повинен передбачатися для можливої модернізації системи керування

Природно, що мікроконтролери AVR не є універсальним засобом "на всі випадки". За певними вимогами необхідно застосування значно дорожчих 16- або 32-розрядних мікроконтролерів, процесорів цифрової обробки сигналів і т.п. Тим не менш, існує велике число різноманітних завдань, при вирішенні яких недорогі і прості в застосуванні 8-розрядні мікроконтролери поза конкуренцією [1-5].

Очевидно, що для побудови системи автоматичного керування одного мікроконтролера недостатньо. Допустимий діапазон зміни вхідних і вихідних

сигналів, особливості інтерфейсів вводу-виводу мікроконтролера, як правило, вимагають різних додаткових засобів керування, пристроїв сполучення та індикації, за допомогою яких можна забезпечити керування різними об'єктами, а саме: електроприводами постійного та змінного струмів, системами стабілізації температури та системами контролю параметрів [6-15].

Загальною особливістю всього сімейства мікроконтролерів AVR є використання 32 регістрів загального призначення та гарвардської архітектури з трьома роздільними адресними модулями: FLASH пам'яті програм; RAM оперативної пам'яті даних; EEPROM програмованої постійної пам'яті даних. Перша та остання є енергонезалежними та зберігають дані за відсутності джерела живлення. RAM – стандартна енергетично залежна оперативна пам'ять. Система команд підтримує стандартні операції з однобайтовими даними, можливі певні операції з двобайтовими словами та окремими бітами. Кожен з 32 восьмирозрядних регістрів загального призначення значення може бути регістром-акумулятором. Отже, формат кодів команд двобайтовий, формат даних однобайтовий [16-29].

Керування та доступ до додаткових апаратних засобів МК реалізується з використанням спеціальних керуючих регістрів - регістрів введення-виведення. Вони визначають параметри та режими роботи пристроїв МК, забезпечують необхідний обмін даними з ними. Кожен пристрій апаратної реалізації містить індивідуальний набір регістрів введення/виведення – основних засобів забезпечення взаємодії. Взаємодія між функціями, реалізованими програмно і апаратно, проводиться формуванням протоколів запитів переривань. Така система дозволяє обслуговувати усі програмні переривання, внутрішні переривання всіх пристроїв МК через регістри введення/виведення та зовнішні переривання. Внутрішні апаратні та зовнішні переривання фіксуються в спеціальній таблиці векторів переривань за визначеними адресами [25-37].

1.3. Структура та характеристики мікроконтролера AT90S8535

Мікроконтролери є досить універсальним засобом та можуть застосовуватися для вирішення самих різноманітних завдань. Функціональні можливості багатьох мікроконтролерів, в тому числі і їх апаратних засобів, орієнтовані на реалізацію алгоритмів керування. Вельми істотно те, що мікроконтролери відносяться до числа масових, недорогих і доступних інтегральних схем номенклатура яких постійно розширюється [5].

Програмний керуючий пристрій побудований на базі мікроконтролера AT90S8535. На рис.1.2 наведена схема виводів мікроконтролера.

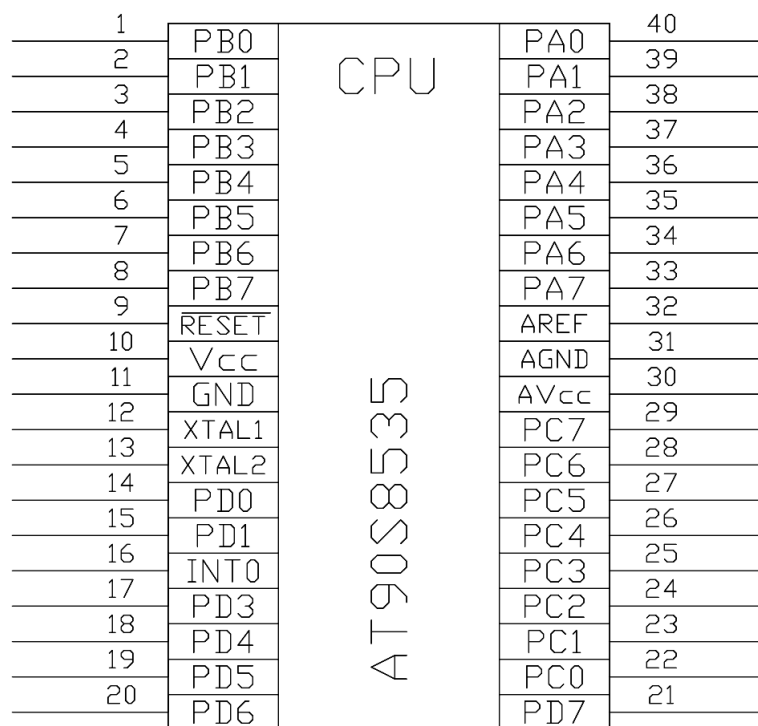


Рис. 1.2. Розташування виводів мікроконтролера AT90S8535 [5]

Мікроконтролери цього сімейства (втім, як і всі інші AVR-мікроконтролери фірми «Atmel») є восьмирозрядними. Вони виготовляються за малоспоживчою комплементарною КМОН-технологією, яка у сполученні з удосконаленою RISC - архітектурою дозволяє досягти найкращого співвідношення показників високою швидкодії та низького енергоспоживання. Оскільки переважна більшість команд

виконується за один такт, швидкодія цих мікроконтролерів може досягати значення 1 MIPS (мільйонів операцій у секунду) на тактовій частоті 1 МГц. У сімейство Classic входять мікроконтролери з різним сполученням периферійних пристроїв, різними об'ємами убудованої пам'яті й різною кількістю виводів. Така різноманітність дає розроблювачеві можливість зробити оптимальний вибір і використати саме той мікроконтролер, що щонайкраще підходить для його потреб [4-6].

Основні особливості мікроконтролерів даного сімейства [13-16]:

- можливість обчислень зі швидкістю до 1 MIPS/МГц;
- FLASH - пам'ять програм об'ємом від 1 до 8 Кбайт (число циклів стирання / запису не менш 1000);
- пам'ять даних на основі статичного ОЗУ (SRAM) об'ємом до 512 байт;
- пам'ять даних на основі ЭСППЗУ (EEPROM) об'ємом від 64 до 512 байт (число циклів стирання / запису не менш 100000);
- можливість захисту від читання й модифікації пам'яті програм і даних (в EEPROM);
- програмування в паралельному (з використанням програматора) або в послідовному (безпосередньо в системі через послідовний SPI - інтерфейс) режимах;
- різні способи синхронізації: убудований RC - генератор, зовнішній сигнал синхронізації або зовнішній резонатор (п'єзокерамічний або кварцовий);
- наявність декількох режимів зниженого енергоспоживання.

Основними характеристиками центрального процесора мікроконтролерів розглянутого сімейства є:

- повністю статична архітектура; мінімальна тактова частота дорівнює нулю;
- АЛУ підключено безпосередньо до регістрів загального призначення;
- більшість команд виконується за один машинний цикл;
- багаторівнева система переривань; підтримка черги переривань;
- від 3 до 16 джерел переривань (з них до 2 зовнішніх);

- наявність програмного стека

Основними характеристиками підсистеми введення / виведення є [13-15]:

- програмне конфігурування й вибір портів введення / виведення;
- кожен вивід може бути запрограмований як вхідний або як вихідний незалежно від інших;
- вхідні буфери із тригером Шмітта на всіх виводах;
- можливість підключення до всіх входів внутрішніх резисторів, що підтягують (опір резисторів становить 35...120 кОм);
- навантажувальна здатність всіх виходів становить до 20 мА, що дозволяє безпосередньо управляти світлодіодними індикаторами.

Мікроконтролери сімейства Classic володіють досить розвинутою периферією. Перелічимо всі периферійні пристрої, так чи інакше, що зустрічаються в мікроконтролерах сімейства [2]:

- 8 - розрядний таймер/лічильник (таймер T0);
- 16 - розрядний таймер/лічильник (таймер T1);
- 8 - розрядний таймер/лічильник з можливістю роботи в асинхронному режимі (таймер T2);
- сторожовий таймер WDT;
- одне або двоканальний 8...10 - розрядний генератор сигналу із широтно - імпульсною модуляцією ШИМ;
- одноканальний 8 - розрядний генератор сигналу із ШИМ;
- аналоговий компаратор;
- 10 - розрядний АЦП (6 або 8 каналів);
- універсальний асинхронний інтерфейс (UART);
- послідовний синхронний інтерфейс (SPI).

Напруга живлення: $U_{VCC} = 2.7..5.5 \text{ В}$.

Струм живлення: $I_{VCC} \leq 40 \text{ мА}$.

Напруга живлення вхідних ліній портів: $U_{InputPort} \leq 5 \text{ В}$.

Струм живлення вхідних ліній портів: $I_{InputPort} \leq 130 \text{ мА}$.

Напруга живлення вихідних ліній портів: $U_{InputPort} \leq 5 \text{ В}$.

Струм живлення вихідних ліній портів: $I_{InputPort} \leq 80 \text{ mA}$.

Для зберігання програм використовується флеш-пам'ять, що організована як 4096 шістнадцятирозрядних слів та займає адресний простір в діапазоні 0- \$ FFF. Молодші адреси в діапазоні від 0 до 10 \$ використовуються як вектора переривання. При включенні живлення управління передається на комірку пам'яті з адресою 0 [2].

Пам'ять даних, на відміну від пам'яті програм, має розрядність 8 біт і ділиться на кілька областей. Адреси в діапазоні від 0 до \$ 1F займає регістровий файл, що складається з 32 робочих регістрів. В область пам'яті з адресами від \$ 20 до \$ 5F відображаються регістри, які обслуговують всі периферійні пристрої МК. Адреси в діапазоні \$ 60 - 25F \$ використовуються для зберігання даних. Тут же розташовується і програмний стек. Схематичне зображення розподілу пам'яті даних наведено рис. 1.3.



Рис. 1.3. Структура пам'яті даних мікроконтролера [2]

До робочих регістрів можна звертатися за їх ім'ям r0 - r31. В цьому випадку доступні всі команди, що підтримуються мікроконтролером. Крім того, до регістрів можна звертатися як до звичайних комірок пам'яті, використовуючи їх абсолютні адреси. У цьому випадку доступні тільки команди пересилань з використанням прямої або непрямої адресації [5,6].

Будь-який з 32 регістрів може використовуватися як приймач і / або джерело даних. Однак при використанні регістрів є деякі особливості. Для непрямої адресації можуть використовуватися тільки регістри r26 - r31. При цьому реєстрова пара r26: r27 трактується як регістр-вказівник з ім'ям X, R28: R29 - як вказівник з ім'ям Y і r30: r31 - як покажчик з ім'ям Z. Крім того, команди з безпосередньою адресацією підтримуються тільки регістрами r16 - r31 [7]

Структурна схема мікроконтролера AT90S8535 зображена на рис. 1.4.

АЛУ виконує стандартний набір операцій перетворення даних однобайтового формату. Практично всі ці операції виконуються за один такт мікроконтролера. Регістр прапорів (стану) також має однобайтовий формат та в даній структурі називається регістром SREG.

Так як пам'ять розділена на три незалежні області - FLASH, RAM та EEPROM, то кожна з цих областей має різне функціональне призначення, володіє самостійною системою і засобами адресації, вимагає застосування різних команд доступу. З точки зору логічної організації мікроконтролера кожне з пристроїв апаратної реалізації інтерфейсних функцій можна розглядати як певний набір регістрів вводу/виводу, зміна даних у цих регістрах і є засобом координації та керування їх роботою [13,14].

У контролері передбачені програмовані режими зниження споживання потужності (**sleep mode**) з відключенням окремих пристроїв. В режимі **idle** процесор мікроконтролера зупинений, всі інші пристрої працюють, і їх внутрішні апаратні переривання або зовнішні переривання переводять мікроконтролер в активний режим негайно. В режимі **power-down** процесор і тактовий генератор зупинені і, отже, не працюють всі пристрої мікроконтролера, що тактовані основним генератором, мікроконтролер переводиться в активний режим сигналами зовнішніх переривань, сторожовим таймером або сигналом RESET. Тривалість зовнішніх сигналів для надійного запуску тактового генератора повинна перевищувати необхідну тривалість сигналу RESET. В режимі **power-save** на відміну від **power-down** запуск мікроконтролера додатково може

проводитися перериваннями таймера 2, якщо в цьому таймері заданий асинхронний режим роботи від допоміжного генератора [5].

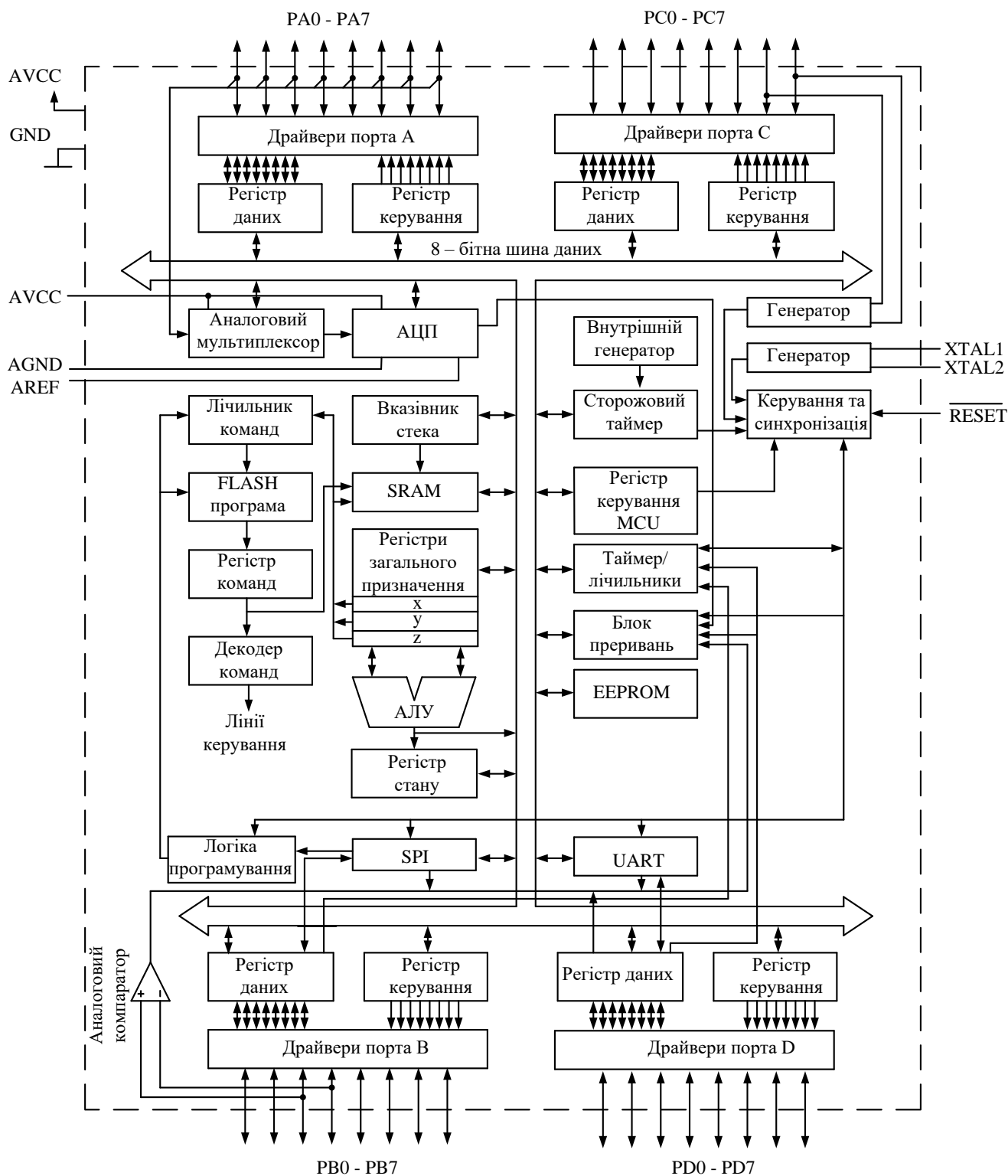


Рис. 1.4. Структурна схема мікроконтролера AT90S8535 [5]

На структурній схемі рис. 1.4 представлені зовнішні виводи МК [15-20]:

- VCC та GND (загальний) - джерело живлення цифрових елементів;
- AVCC, AGND (загальний аналоговий), AREF - живлення та опорна напруга АЦП та його мультиплектора;

- RESET - сигнал зовнішнього скидання (низький рівень тривалістю більш 50 нс), при включенні живлення скидання МК здійснюється автоматично;

- XTAL1 та XTAL2 - відповідно вхід та вихід тактового генератора (для підключення кварцового резонатора (задає частоту) та загальної синхронізації з іншими пристроями), аналогічні електроди допоміжного генератора асинхронного режиму таймера 2 - виводи PC6 і PC7;

- PA0-PA7, PB0-PB7, PC0-PC7, PD0-PD7 - 32 лінії вводу/виводу, об'єднані в 4 восьмирозрядних портів (PORTA, PORTB, PORTC та PORTD). PORTA, PORTB, PORTC, PORTD можуть використовуватися як стандартні двонаправлені порти вводу/виводу або для передачі сигналів інших пристроїв МК.

Альтернативні функції PORTA: передавання аналогових сигналів через мультиплексор на вхід АЦП.

Альтернативні функції PORTB: PB0 та PB1 - зовнішні входи T0 і T1 таймерів 0 і 1 відповідно, PB2 та PB3 - входи AIN0 і AIN1 аналогового компаратора, інші - сигнали синхронного послідовного інтерфейсу SPI (PB4 - SS, PB5 - MOSI, PB6 - MISO, PB7 - SCK).

Альтернативні функції PORTC: PC6 і PC7 - вхід і вихід допоміжного генератора таймера 2.

Альтернативні функції PORTD: PD0 і PD1 - сигнали RXD і TXD асинхронного послідовного інтерфейсу UART відповідно, PD2 і PD3 - сигнали зовнішніх переривань INTO і INT1, PD4-PD7 - сигнали OC 1B, OC1 A, ICP, OC2 таймерів 1 і 2.

1.4. Периферійні пристрої

Для живлення мікроконтролера необхідно джерело напруги 5 В. На рис. 1.5 наведено принципову схему блоку живлення мікроконтролера [3-10]. Де TV1 – трансформатор, на первинній обмотці якого напруга 220 В змінного струму, на вторинній напруга, що не перевищує 50В. VD1–VD4 - діодний міст, конденсатори C1, C2 ≈ 470 мкФ - використовуються як фільтри, мікросхема DA1 - стабілізатор напруги (тип ЕН-12), опору R1, R2 - для вибору вихідної напруги.

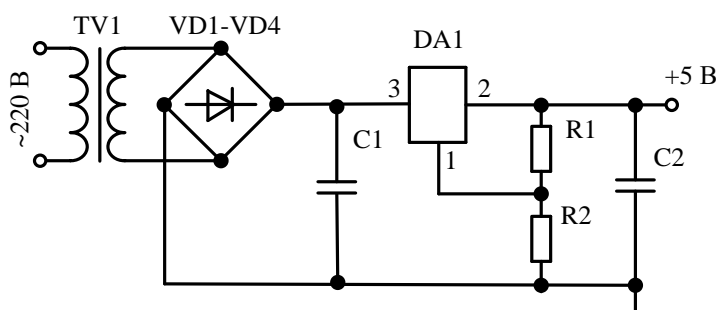


Рис.1.5. Блок джерела живлення мікроконтролера [3]

На рис.1.6 наведено схему підключення до мікроконтролера зовнішнього резонатора. Використовується кварцовий резонатор із частотою 32.768 кГц, що використовується для завдання частоти мікроконтролера. Таким чином, тактова частота мікроконтролера 32.768 кГц. Конденсатори C24, C25 ємністю по 30 пФ.

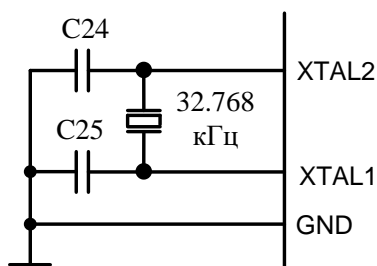


Рис.1.6. Схема підключення до мікроконтролера зовнішнього резонатора [5]

Як схема скидання мікроконтролера використовується мікросхема ADM708AN RESET GENERATOR. На рис. 1.7 наведено схему підключення даної мікросхеми до мікроконтролеру.

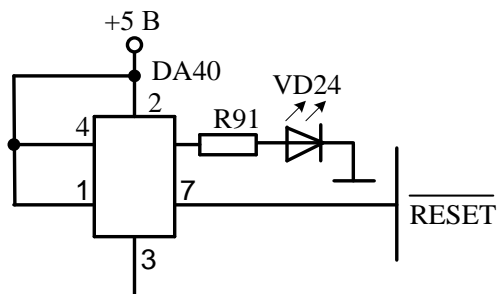


Рис.1.7. Схема скидання мікроконтролера [6]

Таким чином, при подачі живлення на схему, виконується скидання мікроконтролера установкою “НИЗЬКОГО” рівня на лінії скидання, тобто автоматично програма починає свою роботу з підпрограми обробки переривання по скиданню. Світлодіод *VD24* сигналізує про скидання мікроконтролера.

На рис. 1.8 показано схему підключення кнопки до мікроконтролера.

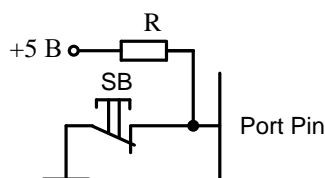


Рис.1.8. Схема підключення кнопки до мікроконтролера [9]

Так кнопка *SB* підключена між лінією мікроконтролера й нульовим потенціалом, через опір $R = 22\text{ k}\Omega$ до лінії також підводить напруга 5 V . Таким чином, якщо кнопка *SB* не натиснута, то на лінії мікроконтролера “НИЗЬКИЙ” рівень (сигнал логічного “0”), якщо кнопка *SB* натиснута, то на лінії мікроконтролера “ВИСОКИЙ” рівень (сигнал логічної “1”) [10].

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА І ТЕХНІКА ЕКСПЕРИМЕНТА

2.1. Методика програмування мікроконтролерного регулятора

Розглянемо двоканальну мікроконтролерну систему (МКС) та алгоритм програмного коду [10-13, 21-32], що забезпечують реалізацію оптимального за комплексним критерієм закону управління:

$$U(t) = \begin{cases} U_2(t), & |x_1(t)| \leq C_1, |x_2(t)| \leq C_2 \\ U_1(t), & |x_1(t)| > C_1, |x_2(t)| > C_2 \end{cases}$$

$$U_1(t) = U_{\max} \operatorname{sign} [x_1(t) - \gamma_1 x_2(t) - \gamma_2 x_2^2(t) - \gamma_3 x_2^3(t) - \gamma_0] \quad \text{та} \quad U_2(t) = r_1 x_1(t) + r_2 x_2(t) + r_0$$

У наведених вище виразах законів управління $x_1(t), x_2(t)$ - сигнали від ліній аналогових детекторів. У табл.2.1 наведено інші величини констант.

Таблиця 2.1

Значення констант для системи управління на МК

$C_1, \text{В}$	$C_2, \text{В}$	$U_{\max}, \text{В}$	$\gamma_0, \text{В}$	γ_1	γ_2	γ_3	r_0	r_1	r_2
0,45	0,85	3,3	0,02	0,05	0,06	0,15	0,29	0,35	1,2

Величина $x_1(t)$ вимірюється сенсорним елементом (вимірювальний міст), у своїй диференціальне напруга змінюється не більше 0,1мВ – 25мВ, а синфазна не перевищує 5В.

Величина $x_2(t)$ вимірюється датчиком з струмовим виходом (максимальний струм 20мА). Слід відмітити, що похибка реалізації лінійного закону управління має перевищувати 2,5%.

Програмування мікроконтролера (МК) починається з внесення до ППЗП за допомогою програматора табульованих значень функції (за допомогою яких визначаємо знак нелінійного впливу):

$$\Psi(x_2)=0,05x_2(t)+0,06x_2(t)+0,15x_2(t)+0,02$$

Розглянемо послідовність роботи МКС:

1. Настроювання МК АТ90S8535 на введення значень x_1 та x_2 ;
2. Детектування рівня сигналу x_2 ;
3. Перевірка виконання умови закону управління:

$$|x_2(t)| \leq C_2$$

4. Детектування рівня сигналу x_1 ;
5. Якщо на етапі 3 перевірка не виконується, тоді переходимо до етапу 8;
6. Перевірка виконання умови закону управління:

$$|x_1(t)| \leq C_1$$

7. Якщо на етапі 6 перевірка виконується, тоді подаємо на вихід лінійну керуючу дію та переходимо до етапу 2;

8. Порівнюємо $\Psi(x_2)$ з рівнем сигналу x_1 ;
9. За виконання умови $\Psi(x_2) > x_1$, на вивід подаємо $\Psi(x_2)$,
10. Якщо мова умова $\Psi(x_2) > x_1$ не виконується, на вивід подаємо $\Psi(x_2)$ з від'ємним знаком;
11. Перехід до етапу 2.

Для виконання цієї задачі був розроблений алгоритм роботи і по ньому написаний код на мові програмування ASSEMBLER, яка була налагоджена в AVRStudio 4. Програмний керуючий пристрій побудований на основі мікроконтролера фірми Atmel, а саме АТ90S8535. Синтаксис коду приведено у додатку А [19].

2.2. Розрахунок параметрів електронного навантаження

Розглянемо методику розрахунку параметрів для фільтра нижніх частот (ФНЧ) даної мікроконтролерної системи. Необхідно розрахувати схему таким

чином, щоб гранична частота смуги пропускання обмежувача спектру $f_{cp} = 100 \text{ Гц}$.

Для реалізації невеликої нерівномірності амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) та фазово-частотної характеристики (ФЧХ) у смугі пропускання за будь-якої апроксимуючої функції добротність полюса виявляється незначною, тому можна використовувати наступні параметричні умови:

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_\phi \quad C_1 = C_3 = C_\phi \quad C_2 = hC_\phi \quad R_4 = 3R_\phi \quad h = 3$$

Вибираємо $R_\phi = 11 \text{ кОм}$ і $C_\phi = 10 \text{ нФ}$, тоді $R_4 = 33 \text{ кОм}$ і $C_2 = 30 \text{ нФ}$.

Пристрій реалізує передавальну функцію:

$$F_\phi(p) = \frac{a_0}{p^3 + p^2 a_2 + p a_1 + a_0},$$

де

$$a_2 = \frac{g_1 + g_2}{C_1} + \frac{g_2 + g_3}{C_2} \quad a_1 = \frac{g_1(g_2 + g_3) + g_2 g_3}{C_1 C_2} + \frac{g_2 g_3}{C_2 C_3}$$

$$a_0 = \frac{g_1 g_2 g_3}{C_1 C_2 C_3} \quad g_1 = \frac{1}{R_1} \quad g_2 = \frac{1}{R_2} \quad g_3 = \frac{1}{R_3}$$

Після підстановки значень всіх коефіцієнтів отримаємо передавальну функцію, яку дослідили за допомогою програмного середовища Simulink (Matlab):

$$F_\phi(p) = \frac{2,504 \cdot 10^{11}}{p^3 + 2,204 p^2 + 1,102 \cdot 10^8 p + 2,504 \cdot 10^{11}}$$

Електрична схема ФНЧ та результати моделювання АЧХ та ФЧХ приведено відповідно на рис.2.1 та рис.2.2.

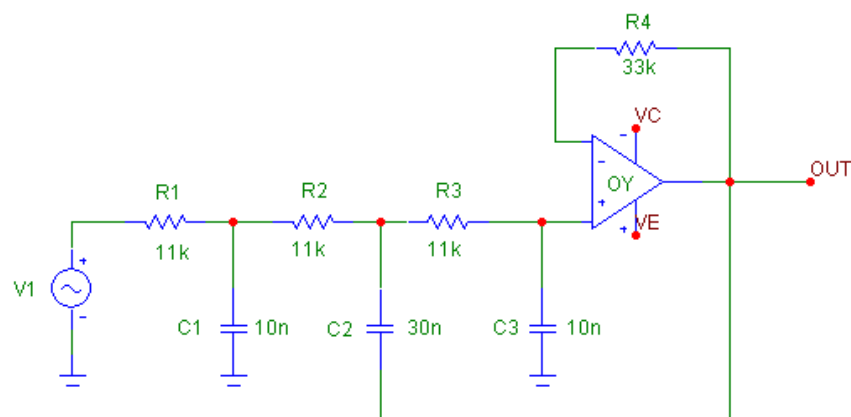


Рис.2.1. Електрична схема ФНЧ

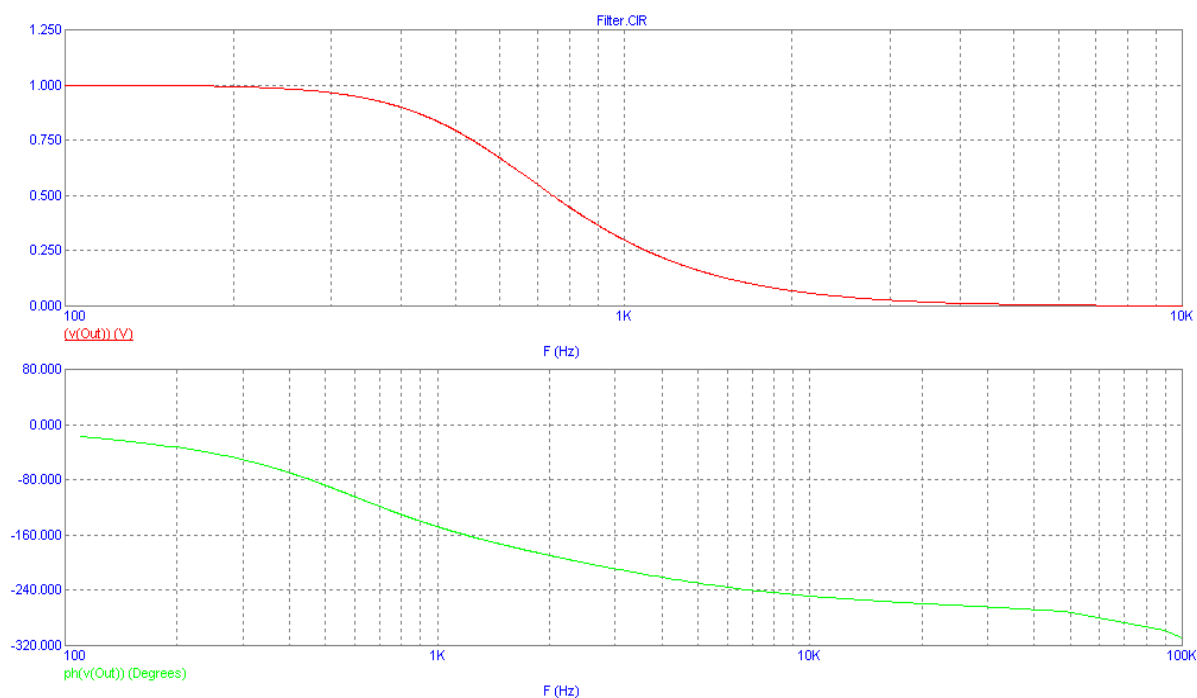


Рис.2.2. Графіки АЧХ та ФЧХ для ФНЧ

Моделювання за допомогою спеціалізованих програмних додатків Simulink (блок LINEARIZER) дозволяє побудувати графіки АЧХ та ФЧХ для досліджуваного ФНЧ.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

3.1. Схема мікроконтролерної системи

У ході виконання даної роботи було розроблено схемотехнічне та програмне рішення для пристрою узгодження двох первинних перетворювачів (датчиків) із мікроконтролером AT90S8535. У ньому первинними ланками є датчики, а АЦП кінцевими. Усі інші складові забезпечують необхідне функціонування усієї МКС. На рис. 3.1 приведено блок-схему пристрою із два паралельні канали передачі сигналів: датчик – підсилювач – фільтр нижніх частот (ФНЧ) – аналого-цифровий перетворювач (АЦП).



Рис.3.1. Блок-схема мікроконтролерної системи

При впровадженні цього типу систем у виробництво використовують багатоканальні структури, що дозволяють підключення до мікроконтролера AT90S8535 кількох датчиків.

3.2. Характеристики датчиків та елементної бази

Тензоперетворювач Д06М-3(У2) ВЮМА 4030 309.001 призначений для безперервного пропорційного перетворення сили (серія С) або тиску (серія Д) в електричний сигнал [33].

Кліматичне виконання тензоперетворювачів за ГОСТ 15150 у заданому температурному діапазоні – $50 \div 80^{\circ}\text{C}$.

Параметри, що вимірюються:

- діапазон вимірювання сил $-5 \div 5 \text{ Н}$;

- діапазон вимірювання тисків від $0,1 \div 0,6 \text{ МПа}$

Електричне живлення здійснюється постійним струмом $15 \pm 0,3 \text{ мА}$.

Значення вихідного сигналу, що відповідає нульовому значенню параметра, що перетворюється, перевищує по абсолютній величині 10 мВ .

Електроопір вимірювального моста знаходиться в межах $4,5 \pm 0,35 \text{ кОм}$.

Нелінійність вихідного сигналу в межах номінального значення діапазону зміни параметра, що перетворюється, виражена у відсотках від діапазону вихідного сигналу, становить не більше $0,15\%$.

Переміщення кінця важеля тензоперетворювачів даної серії, відповідне зміні сили від нуля до верхнього граничного значення має бути в межах $0,25 \pm 0,003 \text{ мм}$.

Варіація вихідного сигналу від діапазону вихідного сигналу повинна бути не більше $0,1\%$.

Зміна початкового значення вихідного сигналу на кожні 10°C , викликане зміною температури навколишнього середовища за абсолютною величиною, має бути не більше 2 мВ .

Величина опору моста за нормальної температури $80 \pm 3^{\circ}\text{C}$ має бути трохи більше $5,3 \text{ кОм}$.

Тензоперетворювач являє собою циліндричний корпус з приєднаним штуцером (перетворювачем тиску) або важелем (перетворювачем сили) на одному торці та контактним роз'ємом на протилежному. Чутливим елементом датчика слугує сапфірова мембрана з кремнієвими тензорезисторами. Вона по

всій площині жорстко з'єднана з металевою (титановою) мембраною. Таким чином утворюється двошарова мембрана, яка жорстко закріплена в корпусі. Вона з'єднується з мембраною, яка призначена для вимірювання тиску, або з важелем, який призначений для вимірювану силу. Внаслідок дії тиску або сили двошарова мембрана деформується, викликаючи зміну тензоопору. В одне плече моста включено джерело живлення, а з іншого плеча знімається вихідний електричний сигнал, пропорційний механічній деформації мембрани від прикладеного тиску чи сили. З метою пасивної термокорекції вихідного сигналу використовується зовнішній опір, включений паралельно одному з тензорезисторів моста.

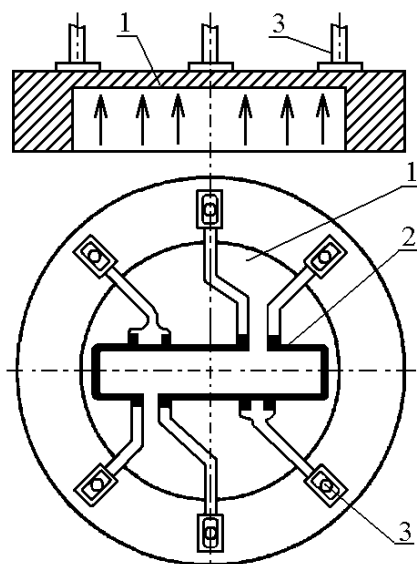


Рис. 3.2. Тензорезистивний перетворювач тиску мембранного типу [34]:

- 1 – мембрана;
- 2 – інтегральна тензочутлива схема;
- 3 – електроди.

У даній мікроконтролерній системі вхідний блок складається з вимірювального мосту і інструментального підсилювача. Значну роль у цій схемі грає вхідний, масштабний підсилювач, оскільки переважно від цього залежить похибка перетворення АЦП (з якою точністю буде посилюватися вхідний сигнал).

Відповідно до поставленого завдання, вхідна величина x_1 вимірюється первинним перетворювачем вимірювального мосту, а величина x_2 - за допомогою датчика з струмовим виходом. Оскільки датчик має велику синфазну перешкоду, як масштабний підсилювач використовується інструментальний, який погоджує x_{1max} із опорним джерелом напруги.

Вимірювальний міст перетворює значення вхідної величини x_1 в еквівалентне їй значення напруги (з коефіцієнтом пропорційності), відповідно до закону зміни значень опору реостату. Параметри операційного підсилювача (ОП) вибираються такими, щоб забезпечити умоу мінімізації дрейфу нуля.

Датчик тиску Арктур-01 призначений для безперервного перетворення надлишкового тиску рідин та газів, в уніфікований струмовий вихідний сигнал [35]. Він може застосовуватися для регулювання та управління технологічних та інших процесів, а також при контролю тисків рідини та газу.

Арктур-01-цифровий датчик надлишкового тиску, що має кліматичне виконання УХЛ1 за ГОСТ 15150, призначені для роботи при температурі навколишнього середовища від мінус 40°C до +80°C, що перетворює вимірюваний тиск в уніфікований струмовий вихідний сигнал 0-5 мА (4-х-дротової лінії зв'язку) або 4-20 мА (по 2-х-дротовій лінії зв'язку) [35].

Схема підключення живлення та вимірювання вихідного сигналу для датчика тиску АРКТУР-01 по 2-х-дротовій лінії зв'язку приведена на рис. 3.3.

Номінальна статична характеристика перетворення цього сенсорного елемента лінійно-зростаюча і в інтервалі нижньої і верхньої межі зміни вихідного сигналу $Y_H \leq Y \leq Y_B$ має вигляд [35]:

$$Y - Y_H = K \cdot X,$$

де Y – поточне значення вихідного сигналу датчика, мА;

Y_H, Y_B – нижня і верхня межі зміни вихідного сигналу, відповідно, мА;

K – коефіцієнт пропорційності, мА/МПа;

X - значення вимірюваної величини, МПа

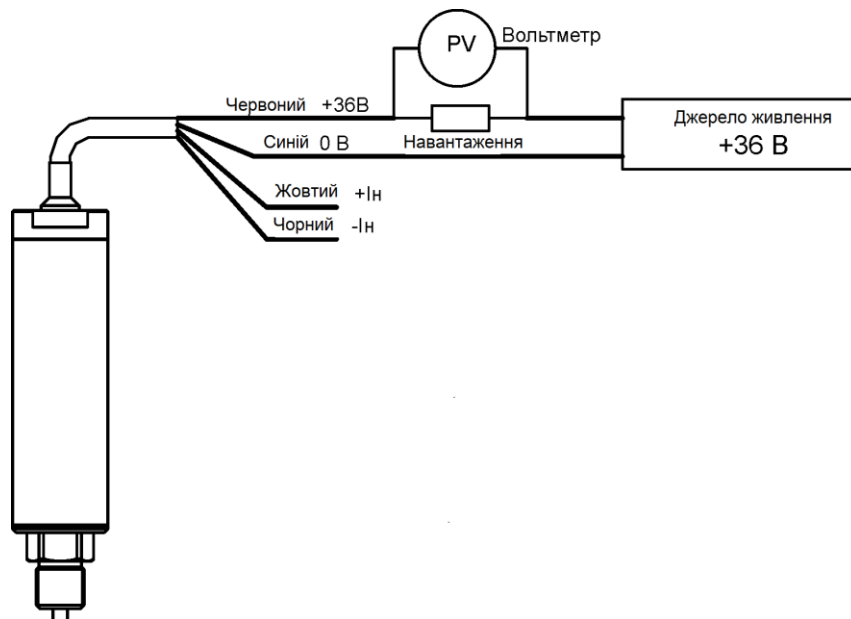


Рис.3.3.Схема підключення датчика тиску АРКТУР-01 за двопровідною лінією зв'язку [35]

За експлуатаційною закінченістю датчики є виробами ДСП третього порядку згідно з ГОСТ 12299 [35].

Діапазон вимірювань надлишкового тиску $0,06 \div 100$ МПа.

Конструкція датчиків забезпечує можливість підстроювання нуля та верхньої межі зміни вихідного сигналу при випуску з виробництва та в процесі експлуатації.

Конструкція датчиків має корпус, який унеможливорює несанкціонований доступ до електронного блоку.

Конструкція датчиків забезпечує можливість вимірювання тиску середовищ, стосовно яких матеріали, що контактують з вимірюваним середовищем, є корозійностійкими.

Діапазон допустимої похибки, вираженої у відсотках від верхньої межі вимірювань, становить $\pm 0,1 \div \pm 0,5\%$

Оскільки обраний датчик має струмовий вихід 4...20 мА, необхідно розрахувати схему таким чином, щоб при входному струмі 4 мА напруга на виході була 0, а при 20 мА - 2,5 В.

Електричне живлення датчиків має здійснюватися від джерела живлення постійного струму напругою $(36 \pm 0,72)$ В. При роботі датчика в режимі 4-20 мА з навантаженням R_n мах допускається зменшення напруги на датчику до 15 В за рахунок падіння напруги на навантаженні.

У спроектованому пристрої будемо використовувати прецизійні резистори типу С2-29 [22]. Це резистори з металодіелектричним провідним шаром, призначені для роботи у високоточних електричних ланцюгах постійного, змінного та імпульсного струму як елементи навісного монтажу (рис.3.4). Резистори типу С2-29 відносяться до ізольованих.

За шкалою Е192 резистори мають точність:

$$\Xi_R=0,001$$

Температурний коефіцієнт опору [22]:

$$\alpha_R=5,5 \cdot 10^{-5} \text{ 1/}^{\circ}\text{C (при } -10 < t < 20^{\circ}\text{C)}$$

$$\alpha_R=5 \cdot 10^{-5} \text{ 1/}^{\circ}\text{C (при } 20 < t < 50^{\circ}\text{C)}$$

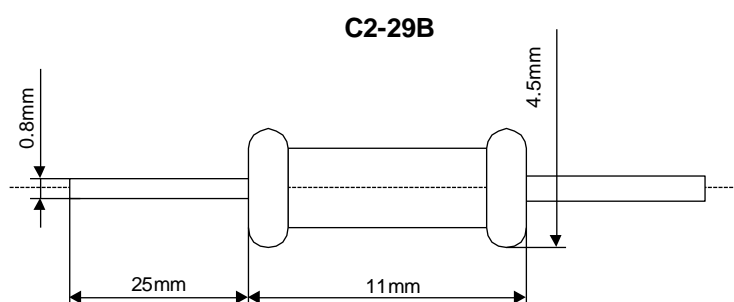


Рис.3.4. Вид резистора С2-29В [22]

Також у схемі використовуватимемо конденсатори типу К71-6 (рис.3.5).

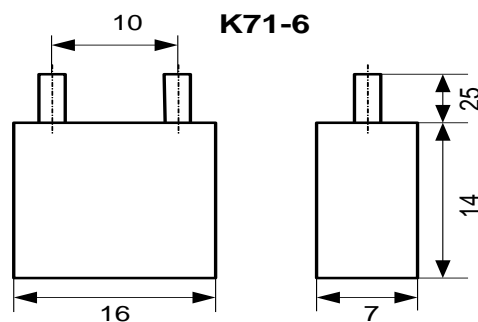


Рис.3.5. Конденсатор типу К71-6 [22]

Конденсатори К71-6 призначені для роботи в ланцюгах постійного, змінного та імпульсного струму.

Мають циліндричний герметизований металевий корпус.

Діапазон робочих температур: $-60\dots+200$ °С.

3.3. Характеристики операційного підсилювача

Вибираючи операційний підсилювач, необхідно мінімізувати напругу дрейфу нуля ОП. Таким чином, необхідно домогтися виконання наступної умови:

$$U_{\text{др}} = I_{\text{вх}} \cdot 2R < \frac{E_{\text{он}}}{2^{n+1}}$$

$$U_{\text{др}} = I_{\text{вх}} \cdot 2R < \frac{E_{\text{он}}}{2^{n+1}} = \frac{2,5}{2^{11}} = 1,221$$

Після підстановки отримаємо величину напруги дрейфу нуля близько 1,2 В. Далі потрібно вибрати операційний підсилювач, параметри якого задовольняють задані умови.

З довідкової літератури вибираємо тип та необхідні характеристики операційного підсилювача. Як операційний підсилювач був взятий малошумний прецизійний підсилювач ОР27 [38], функціональну схему якого наведено на рис.3.6. Робочі характеристики ОР27 приведено у таблиці 3.1.

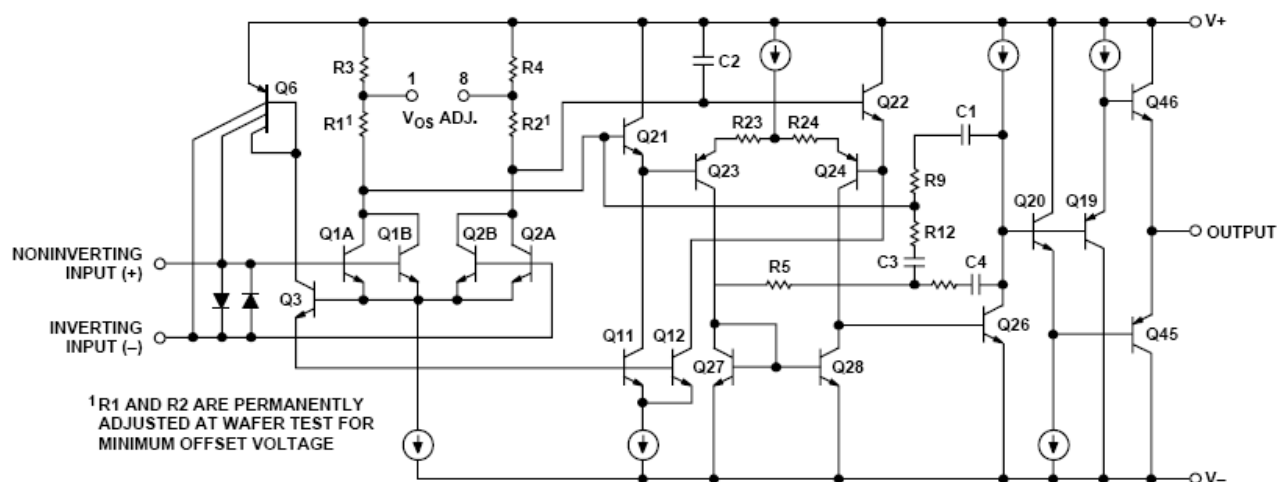


Рис.3.6. Функціональна схема прецизійного підсилювача OP27 [38]

Таблиця 3.1.

Робочі характеристики малощумного прецизійного підсилювача OP27 [38]

Параметр	Позначення	Значення	Одиниця вимірювання
Число елементів у корпусі	T	1	-
Напруга зсуву ОП	$U_{зсув}$	0,03	мВ
Вхідний струм	$I_{вх}$	40	мА
Частота одиничного посилення	Δf	8	МГц
Мінімальний стабільний коефіцієнт посилення	K_{\min}	≥ 1	-
Напруга живлення	$U_{живл}$	$\pm 3 \dots \pm 18$	В
Максимальний струм споживання на один елемент	$I_{\max 1}$	9,3	мА
Тип корпусу	DIP-8, SO-8, TO99-8	-	-

ВИСНОВКИ

1. Для автоматизації різних процесів датчики є невід'ємною складовою мікроконтролерних систем. Відомо, що цифрові датчики все більше витісняють аналогові через простоту розробки обміну даними. Однак канали обробки аналогового сигналу досі мають більш високу інтеграцію та універсальність. Це забезпечується за рахунок того, що усі компоненти, які включає канал обробки аналогового сигналу призначені для універсальних підсистем. На базі схем вибірки та зберігання, операційних підсилювачів та інших аналогових елементів розробляють операційні вузли, різних комутаторів тощо здатні обробляти аналогову інформацію без переведення їх у цифровий вигляд. Аналогові канали обробки даних мають більш велику швидкодію, ніж цифрові канали.

2. Розглянуто двоканальний пристрій узгодження датчиків тиску з мікроконтролером AT90S8535, здійснено розрахунок параметрів системи, виконано моделювання. Даний пристрій має високу інтеграцію та універсальність, має модернізаційний запас, стабільність роботи та високу швидкодію, що підтверджують виконані розрахунки та результати моделювання.

3. Розроблено програмний керуючий пристрій, що призначений для формування збору та обробки даних від двох тензодатчиків з первинним перетворенням за мостовою схемою вимірювання сигналу та струмовим виходом. Для досягнення цього результату була побудована принципіальна схема, розглянуто алгоритм роботи та синтаксис програмного коду, який був налагоджений в AVRStudio 4. Структурні схеми окремих елементів двоканальної системи керування на мікроконтролері досліджені в програмному середовищі Simulink пакету Matlab.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Тонкошкур О. С. Мікроконтролерні пристрої / О. С. Тонкошкур,. І. В. Гомілко, О. В. Коваленко. – Дніпро: Вид-во ДНУ, 2011. – 264 с.
2. Шпак Ю.А Программирование на языке С для AVR и PIC микроконтроллеров. – К.: “МК-Пресс”, 2006. – 400 с.
3. Браун М. Источники питания. Расчет и конструирование / М.Браун. – Киев: МК-ПРЕСС, 2007. – 288с.
4. Цифрові пристрої та мікропроцесори. Архітектура та програмування мікроконтролерів: навч. посіб. / В.В.Скороделов, О.М.Рисований, О.Ф.Даниленко, М.В.Ліпчанський – МОУ, Харків: ХВУ, 2003. – 328с.
5. Грищук Ю.С. Мікроконтролери: архітектура, програмування та застосування в електромеханіці.– Харків: НТУ «ХП», 2019 – С. 26-30.
6. Новацький А.О. Програмування мікропроцесорних систем на базі мікроконтролерів сімейства MCS-51.– Київ: НТУУ «КП», 2016 – 16 с.
7. <https://uk.wikipedia.org/wiki/Мікроконтролер> – Мікроконтролер, дата доступу: 06.05.2022 р.
8. Кёниг А. Полное руководство по PIC-микроконтроллерам / А. Кёниг, М.Кёниг. – Киев, МК-ПРЕСС, 2007. – 256с.
9. <http://elektrik.info/main/automation/549-что-такое-mikrokontrollery-naznachenie-ustroystvo-princip-raboty-soft.html> – Що таке мікроконтролери, дата доступу: 05.05.2022 р.
10. https://elektrovesti.net/tools/483_vse-o-mikrokontrollerakh-avr – AVR мікроконтролери, дата доступу: 07.05.2022 р.
11. https://myrobot.ru/stepbystep/mc_meet.php – Мікроконтролери: стислий огляд, дата доступу: 07.05.2022 р.
12. Иванов Ю.И. Микропроцессорные устройства систем управления / Ю.И. Иванов, ВЛ. Югай. Учебное пособие. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005.– 133с.

13. Баранов В.Н. Применение микроконтроллеров AVR: схемы, алгоритмы, программы. - Москва: Издательский дом "Додэка-XXI", 2004. – 288 с.
14. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейства Classic фирмы Atmel. - Москва: Издательский дом "Додэка-XXI", 2002. – 288 с.
15. Голубцов М.С. Микроконтроллеры AVR: от простого к сложному. – Москва: СОЛОН-Пресс, 2004. – 304 с.
16. Астраханцев А.В. Микропроцессоры и микроконтроллеры. Архитектура и периферийные устройства микроконтроллеров семейства AVR / А.В.Астраханцев, Ю.И.Мошкович, А.А.Тестоедов. Учебное пособие. – Севастополь: СевНТУ, 2005. – 40с.
17. Бородин И.Ф. Автоматизация технологических процессов / И.Ф. Бородин, Н.М. Недилько. – Москва: Агропромиздат, 1986. – С. 134-140.
18. Бородин И.Ф. Автоматизация технологических процессов / И.Ф. Бородин, Ю.А. Судник. – Москва: Колос, 2004. – 344 с.
19. http://8ref.com/10/referat_107752.html - Мікроконтролерні регулятори оптимальної системи управління - Комунікації і зв'язок, дата доступу: 18.05.2022 р.
20. Гончар В.Ф., Тищенко Л.П. Электрообладнання і автоматизація с.-г. агрегатів і установок. – К.: Вища школа, 1989. – 343 с.
21. Шпак Ю.А Программирование на языке С для AVR и PIC микроконтроллеров. – К.: МК-Пресс, 2006. – 400 с.
22. Резисторы, конденсаторы, трансформаторы, дроссели, коммутационные устройства РЭА: Справочник / Н.Н.Акимов, Е.П.Ващуков, В.А.Прохоренко, Ю.П.Ходоренок – Минск: Беларусь, 1994. – 591с.
23. Бродин В. Б. Системы на микроконтроллерах и БИС программированной логики / В.Б.Бродин, А.В.Калинин. – Москва: ЕКОМ, 2002. – 400с.
24. Холенд Р. Микропроцессоры и операционные системы / Р. Холенд. – Москва: Энергоатомиздат, 1991. – 192с.
25. Микушиних А. Интересно про микроконтроллеры / А.Микушиних. – Москва: БХВ-Петербург, 2006. – 430 с.

26. Фрунзе А.В. Микроконтроллеры? Это ж просто! Т. 3. / А.В.Фрунзе. - Москва: ТОВ "ВД СКІМ", 2003. – 224 с.
27. Васильев А.Е. Микроконтроллеры. Разработка встраиваемых приложений / А.Е.Васильев. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2008. – 304с.
28. Яценков В.С. Микроконтроллеры MICROCHIP. Практическое руководство / В.С.Яценков – Москва: Горячая линия-телеком, 2002. – 296с.
29. Предко М. Руководство по мікроконтролерам. Том 1. / М.Предко. – Москва: Постмаркет, 2001. – 416с.
30. Сташин В.В. Проектирование цифровых устройств на однокристалльных микроконтроллерах / В.В.Сташин, А.В.Урусов, О.Ф.Мологонцева. – Москва: Энергоатомиздат, 1990. – 224с.
31. Белов А.В. Самоучитель разработчика устройств на микроконтроллерах AVR Наука и техника / А.В.Белов. – Москва: ТОВ "ВД СКІМ", 2008, 544 с
32. Деменков Н.П. Языки программирования промышленных контроллеров/ Н.П.Деменков. – Москва: МГТ им. Н.Э.Баумана, 2004. – 172с.
33. Тензопреобразователь Д06М-3(У2). Паспорт. ВЮМА 4030 309.001.ПС. ЗАО «НПК ВИП». Екатеринбург, 2006.
34. <http://veda.com.ua/catalogue/tenzorezistory>. - Тензорезисторы, дата доступа: 14.05.2022 р.
35. <https://zapadpribor.com/datchik-izbytochnogo-davleniya-arktur-01/> - Датчик избыточного давления Арктур-01, дата доступа: 15.05.2022 р.
36. <https://www.compel.ru/lib/55060> – Огляд ARM-мікроконтролерів від STMicroelectronics, дата доступа: 15.05.2022 р.
37. http://digitrode.ru/computing-devices/mu_cpu/1253-mikrokontrollery-8051-pic-avr-i-arm-otlichiya-i-osobennosti.html – Різниця між мікроконтролерами AVR, ARM, 8051 і PIC, дата доступа: 16.05.2022 р.
38. <https://led-stars.com.ua/p321542627-kr140ud25b-pretsizionnyj-usilitel.html> – КР140УД25Б (ОР 27) прецизионный усилитель со сверхнизким значением входного напряжения шума, дата доступа: 18.05.2022 р.

СИНТАКСИС ПРОГРАМНОГО КОДУ

```
.NOLIST
.INCLUDE "8535def.inc"
.LIST
.CSEG
.org $000
rjmp reset; переривати по reset
.org $00e
rjmp adc0; переривати по завершенню перетворення АЦП
.ORG$011
reset:ldi r16, low(RAMEND)
out SPL, r16
ldi r16, high(RAMEND)
out SPH, r16; визначити в покажчику стека адреси RAMEND
ldi r16, 0b11111110
out admux, r16; перетворювати сигнал з першого виходу мультиплексора PA1
out DDRA, r16; визначити всі біти порту A на введення
ldi r16, 0b11111110
out portA, r16; визначити пасивний високий рівень сигналу для всіх бітів порту A
ser r16; установити всі біти $ff в регістр r16
out DDRB, r16; порт B на вивід
ldi r16, 0b11001110
out adcsr, r16; ініціалізація АЦП
ldi r16, 0b00000110; ініціалізація запису в ППЗУ
out EECR, r16
ldi r16, 0b00000000; ініціалізація читання з ППЗУ
out EECR, r16
sei; прапор глобального дозволу переривань
main:
nop
rjmp main
adc0:; підпрограма обробки переривань АЦП
inc r20
cpi r20, 1
brne adc1
```

```

in r17, ADCL; занести молодший байт коду результату перетворення АЦП в
регістр r17
in r18, ADCH; занести старший байт коду результату перетворення АЦП в
регістр r18
ldi r16, 0b00000001
out admux, r16; перетворювати сигнал з першого виходу мультиплектора PA0 x1
sbi adcsr, ADSC; запустити АЦП для одноразового перетворення
reti
adc1:
clr r20
in r21, ADCL; занести молодший байт коду результату перетворення АЦП в
регістр r21
in r22, ADCH; занести старший байт коду результату перетворення АЦП в
регістр r22
ldi r23, 0b10110011
ldi r24, 0b01101011; занести C1
ldi r27, 0b00000110
ldi r28, 0b11010101; занести C2
cpi r28, r18; порівняти C2 і x2
brne u1; перейти якщо різниця (C2-x2) негативна
cpi r27, r17
brne u1
cpi r22, r24; порівняти C1 і x1
brne u1; перейти якщо різниця (C1-x1) негативна
cpi r21, r23
brne u1
ldi r16, 0b00000001; завантажити U2 лінійна залежність
out PORTB, r16
reti
u1:
lsl r17
rol r18
out EEARL, r17
out EEARH, r18
sbi EECR, EERE
rcall pausa; затримка для нормального читання з ППЗУ
in r11, EEDR
cpi r22, r11
brne otrsign

```

```
ldi r31,1
clr r30
add r17, r31
adc r18, r30
out EEARL, r17
out EEARH, r18
sbi EECR, EERE
rcall pausa; затримка для нормального читання з ППЗУ
in r11, EEDR
cpi r21, r10
brne otrsign
ldi r16,0b0000010; завантажити U1 нелінійна залежність
out PORTB, r16
sbi adcsr, ADSC; запустити АЦП для одноразового перетворення
reti
otrsign:
ldi r16,0b0000100; завантажити U1 зі зворотним знаком нелінійна залежність
out portB, r16
sbi adcsr, ADSC; запустити АЦП для одноразового перетворення
reti; підпрограма затримки для нормального читання з ППЗУ
pausa:
inc r29
cpi r29, r39
brne pausa
clr r29
reti»
```

ПРЕЗЕНТАЦІЯ ДО РОБОТИ



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ КРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КОНОТОПСЬКИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра електронних
приладів і автоматики

Кваліфікаційна робота бакалавра

**АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ ЗБОРУ ДАНИХ ТА
ОБРОБКИ ДАНИХ НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛЕРА**

Студент гр. ЕІ-81.

А.А. Биркун

Науковий керівник,
к. ф.-м. н, доцент

І.П. Бурик

Конотоп 2022

ВСТУП

Об'єктом дослідження кваліфікаційної роботи бакалавра є автоматична система збору та обробки аналогових даних на основі мікроконтролера AT9088535.

Мета роботи є створення керуючого пристрою (програмного) призначеного збору та обробки даних, а також вивчення архітектури мікроконтролерів фірми ATMEGA серії AVR та їх програмування в середовищі налагоджування програм AVRStudio.

При виконанні проекту використовувалися положення теорій автоматичного керування систем збору та обробки аналогових даних, датчиків неелектричних величин, мова програмування ASSEMBLER, документація по мікроконтролеру AT9088535, середовище налагоджування програм AVRStudio, а також математично описано типові структури систем збору та обробки аналогових даних.

Робота складається із вступу, трьох розділів основної частини та висновків. У першому розділі наведено огляд основних характеристик та особливостей роботи мікроконтролера AT9088535. У другому розділі розглядаються методики програмування мікроконтролерної системи, розрахунку та моделювання характеристик електронного навантаження. Третій розділ містить розроблену структурну схему пристрою, електричні схеми її окремих компонентів, розглянуто експлуатаційні параметри та особливості використання.

1.1. Загальна структура мікроконтролера

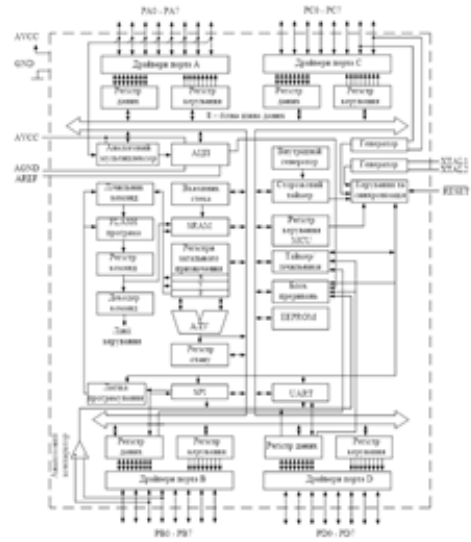


Рис.1.1. Загальна структура мікроконтролера з архітектурою RISC (а) та відлагоджувальна плата для мікроконтролера ATmega8535L (б)

1.2. Структура та характеристики мікроконтролера AT90S8535

1	PB0	CPU	PA0	40
2	PB1		PA1	39
3	PB2		PA2	38
4	PB3		PA3	37
5	PB4		PA4	36
6	PB5		PA5	35
7	PB6		PA6	34
8	PB7		PA7	33
9	RESET		AREF	32
10	Vcc	AVcc	31	
11	GND	AGND	30	
12	XTAL1	PC7	29	
13	XTAL2	PC6	28	
14	PD0	PC5	27	
15	PD1	PC4	26	
16	INT0	PC3	25	
17	PD3	PC2	24	
18	PD4	PC1	23	
19	PD5	PC0	22	
20	PD6	PD7	21	

a



б

Рис. 1.2. Розташування виводів (а) та структурна схема (б) мікроконтролера AT90S8535

1.3. Периферійні пристрої

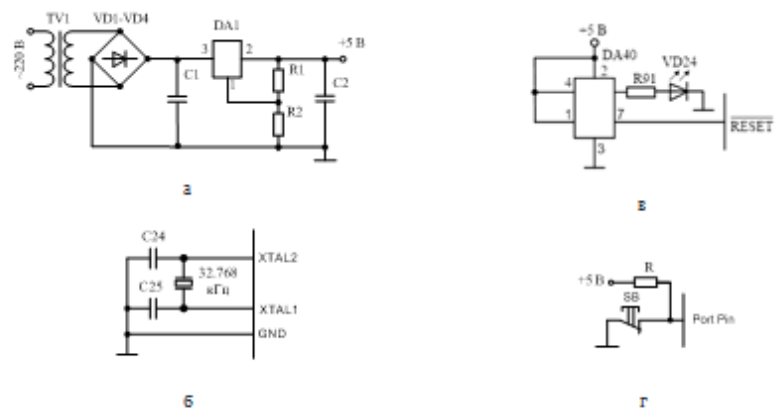


Рис. 1.3. Схеми підключення периферійних пристроїв: а - блок джерела живлення, б – зовнішній резонатор, в - скидання мікроконтролера, г - кнопки перемикання

РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА І ТЕХНІКА ЕКСПЕРИМЕНТУ

2.1. Методика програмування мікроконтролерного регулятора

У даній роботі розглянуто двоканальну мікроконтролерну систему, алгоритм та програмний код, що забезпечують реалізацію оптимального за комплексним критерієм закону управління:

$$U(t) = \begin{cases} U_2(t), & |x_1(t)| \leq C_1, |x_2(t)| \leq C_2 \\ U_1(t), & |x_1(t)| > C_1, |x_2(t)| > C_2 \end{cases}$$

$$U_1(t) = U_{\text{max}} \operatorname{sign} [x_1(t) - \gamma_1 x_2(t) - \gamma_2 x_2^2(t) - \gamma_3 x_1^2(t) - \gamma_4] \quad \text{та} \quad U_2(t) = \gamma_5 x_1(t) + \gamma_6 x_2(t) + \gamma_7$$

У наведених вище виразах законів управління $x_1(t), x_2(t)$ - сигнали від ліній аналогових детекторів. У табл.2.1 наведено інші величини констант.

Таблиця 2.1

Значення констант для системи управління на МК

$C_1, \text{В}$	$C_2, \text{В}$	$U_{\text{max}}, \text{В}$	$\gamma_4, \text{В}$	γ_1	γ_2	γ_3	γ_5	γ_6	γ_7
0,45	0,85	3,3	0,02	0,05	0,06	0,15	0,29	0,35	1,2

2.2. Алгоритм роботи мікроконтролерної системи

1. Налаштування МК AT90S8535 на введення значень x_1 та x_2 ;

2. Детектування рівня сигналу x_2 ;

3. Перевірка виконання умови закону управління:

$$|x_2(t)| \leq C_2$$

4. Детектування рівня сигналу x_1 ;

5. Якщо на етапі 3 перевірка не виконується, тоді переходимо до етапу 8;

6. Перевірка виконання умови закону управління:

$$|x_1(t)| \leq C_1$$

7. Якщо на етапі 6 перевірка виконується, тоді подаємо на вихід лінійну керуючу дію та переходимо до етапу 2;

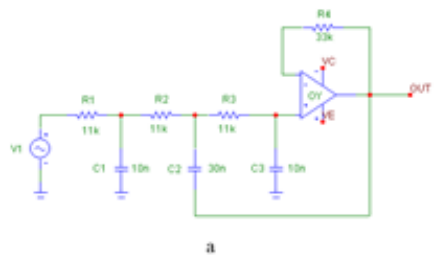
8. Порівнюємо $\Psi(x_2)$ з рівнем сигналу x_1 : $\Psi(x_2) = 0,05x_1(t) \vee 0,06x_2(t) \vee 0,15x_1(t) \vee 0,02$

9. За виконання умови $\Psi(x_2) > x_1$, на вихід подаємо $\Psi(x_2)$,

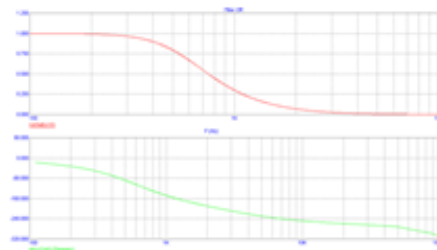
10. Якщо мова умова $\Psi(x_2) > x_1$ не виконується, на вихід подаємо $\Psi(x_2)$ з від'ємним знаком;

11. Перехід до етапу 2.

2.3. Розрахунок параметрів електронного навантаження



а



б

Рис.2.2. Електрична схема ФНЧ(а) та графіки АЧХ та ФЧХ для ФНЧ(б)

Таблиця 2.1
Робочі характеристики малопотужного прецизійного операційного підсилювача OP27

Параметр	Позначення	Значення	Одиниця вимірювання
Число елементів у корпусі	Z	1	-
Напруж. струм ОЕІ	I_{sc}	0,05	мА
Вихідний струм	I_o	40	мА
Частота одиничного посилення	f _u	8	МГц
Максимальний стабільний коефіцієнт посилення	K _{max}	±1	-
Напруж. живлення	V _{max}	±1...±18	В
Максимальний струм споживання на один елемент	I _{max}	9,5	мА
Тип корпусу	OP-8, SO-8, TO99-4	-	-

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

3.1. Схема мікроконтролерної системи



Рис.3.1. Блок-схема мікроконтролерної системи

3.2. Характеристики датчиків та елементної бази

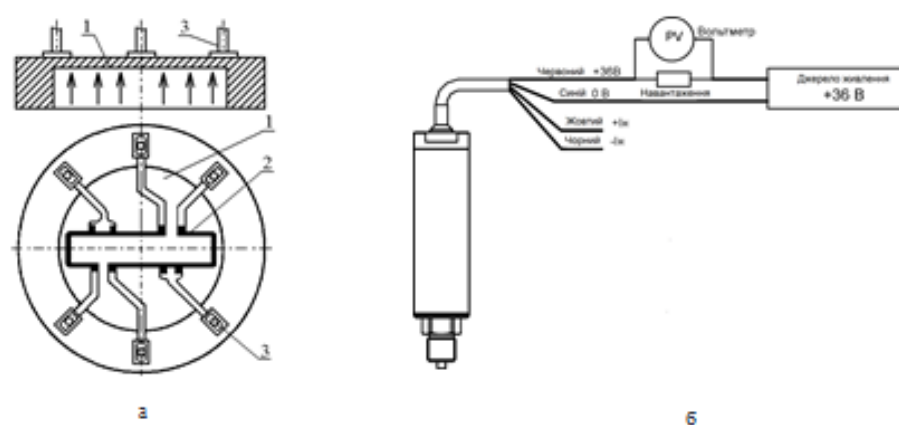


Рис.3.2. Тензорезистивний первинний перетворювач тиску мембранного типу (а) та схема підключення датчика тиску із струмовим виходом (б) за двопровідною лінією зв'язку: 1 – мембрана; 2 – інтегральна тензочувлива схема; 3 – електроди

1. Для автоматизації різних процесів датчики є невід'ємною складовою мікроконтролерних систем. Відомо, що цифрові датчики все більше витісняють аналогові через простоту розробки обміну даними. Однак канали обробки аналогового сигналу досі мають більш високу інтеграцію та універсальність. Це забезпечується за рахунок того, що усі компоненти, які включає канал обробки аналогового сигналу призначені для універсальних підсистем. На базі схем вибірки та зберігання, операційних підсилювачів та інших аналогових елементів розробляють операційні вузли, різних комутаторів тощо здатні обробляти аналогову інформацію без переведення їх у цифровий вигляд. Аналогові канали обробки даних мають більш велику швидкість, ніж цифрові канали.
2. Розглянуто двоканальний пристрій узгодження датчиків тиску з мікроконтролером AT90S8535, здійснено розрахунок параметрів системи, виконано моделювання. Даний пристрій має високу інтеграцію та універсальність, має модернізаційний запас, стабільність роботи та високу швидкість, що підтверджують виконані розрахунки та результати моделювання.
3. Розроблено програмний керуючий пристрій, що призначений для формування збору та обробки даних від двох тензодатчиків з первинним перетворенням за мостовою схемою вимірювання сигналу та струмовим виходом. Для досягнення цього результату була побудована принципіальна схема, розглянуто алгоритм роботи та синтаксис програмного коду, який був налагоджений в AVRStudio 4. Структурні схеми окремих елементів двоканальної системи керування на мікроконтролері досліджені в програмному середовищі Simulink пакету Matlab.