

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Кафедра електроніки та комп'ютерної техніки

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

до кваліфікаційної роботи бакалавра на тему:

**УНІВЕРСАЛЬНИЙ**  
**БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ ЗБОРУ**  
**ДАНИХ НА ОСНОВІ МІКРОКОНТРОЛЕРУ**

Завідувач кафедри електроніки

і комп'ютерної техніки

\_\_\_\_\_ А.С. Опанасюк

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ І.А. Кулик

Студент групи ЕС-81

\_\_\_\_\_ Д.О. Заїка

Суми 2022

## РЕФЕРАТ

У цій кваліфікаційній роботі бакалавра розроблено мікроконтролерний пристрій збору даних, у складі якого міститься промисловий мікроконтролер фірми Intel, аналого-цифровий перетворювач, аналоговий комутатор, чотирирозрядний семисегментний напівпровідниковий індикатор. Архітектурні та структурні особливості застосовуваного мікроконтролера спеціальним чином спрямовані на реалізацію різноманітних виробничих додатків.

Призначенням мікроконтролерного пристрою збору даних є забезпечення вимірювання параметрів технологічного процесу, збереження значень параметрів у пам'яті, обчислення вимірянних параметрів заданої функції і відображення її значення на дискретному індикаторі.

Області застосування даного пристрою збору даних можуть бути різні автоматизовані системи управління технологічним процесом.

Пристрій збору даних реалізовано на основі мікроконтролера, що забезпечує наступні переваги пристрою: швидке циклічне опитування аналогових датчиків та невеликі апаратні витрати за рахунок використання спеціалізованих засобів мікропроцесорної техніки.

Випускна робота містить \_\_\_\_ сторінок тексту, \_\_\_\_ малюнків, \_\_\_\_ таблиць, графічний матеріал у вигляді структурної схеми, функціональної та принципової схем пристрою.

## ЗМІСТ

Список умовних позначень .....	
Вступ .....	
1 Огляд літератури та постановка задачі проектування .....	
1.1 Принципи побудови систем керування .....	
1.2 Застосування мікроконтролерів у сучасній промисловості .....	
1.3 Промислові інтерфейси в системах автоматизації .....	
1.4 Апаратні засоби систем керування.....	
1.5 Постановка задачі проектування .....	
2 Розробка структурної схеми та алгоритму роботи мікроконтролерного пристрою збору даних .....	
2.1 Структурна схема мікроконтролерного пристрої збору даних .....	
2.2 Алгоритм роботи мікроконтролерного пристрої збору даних .....	
3 Розробка функціональної схеми мікроконтролерного пристрою збору даних .....	
4 Розробка важливих схем блоків мікроконтролерного пристрою збору даних .....	
4.1 Блок процесора .....	
4.2 Блок аналогового введення даних .....	
4.3 Блок відображення даних .....	
5 Розробка програмного забезпечення мікроконтролерного пристрою збору даних .....	
Висновок .....	
Список літератури .....	

## СПИСОК УМОВИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АЦП – аналого-цифровий перетворювач  
БАВ – блок аналогового введення  
БІС – велика інтегральна схема  
БОД – блок відображення даних  
БП – блок процесора  
БПД – блок пам'яті даних  
БПП – блок пам'яті програм  
ВІБ – другий інтерфейсний блок  
ДДК – двійково-десятковий код  
ІМС – інтегральна мікросхема  
МК – мікроконтролер  
МКУ – мікроконтролерний пристрій збору даних  
МП – мікропроцесор  
МПС – мікропроцесорна система  
ОЗУ – оперативний запам'ятовуючий пристрій  
ПЗУ – постійне запам'ятовуючий пристрій  
ПІБ – перший інтерфейсний блок  
ПЗ – програмне забезпечення  
ТТЛ – транзисторно-транзисторна логіка  
ТТЛШ – ТТЛ із діодами Шотткі  
УУСД – універсальний пристрій збору даних  
ША – шина адреси  
ШД – шина даних  
ШУ – шина керування

## ВСТУП

Одним із напрямків розвитку мікропроцесорної техніки є розробка вбудованих мікроконтролерів. Це однокристальні системи, які орієнтовані, насамперед, виконання функцій управління різними пристроями. Використовуються мікроконтролери у різних сферах – від сучасної побутової техніки (холодильники, пральні машини, кухонні комбайни) до найскладніших систем керування технологічними процесами та робототехнічними комплексами. Кількість мікроконтролерів, що випускаються на сьогоднішній день, майже в 10 разів перевищує кількість традиційних мікропроцесорів.

Сучасний мікроконтролер – це складна цифрова система, яка розміщується на кристалі, до складу якого входить 8-, 16- або 32-розрядний процесор, внутрішня пам'ять програми (десятки кілобайт), широкий набір інтерфейсних та периферійних пристроїв, зокрема портів вводу/виводу, таймерів, аналого-цифрових перетворювачів

У цій роботі необхідно розробити мікроконтролерний пристрій збору даних виробничого процесу на основі спеціалізованого промислового мікроконтролера.

У загальному випадку мікроконтролерний пристрій збору даних – це сукупність апаратних та програмних засобів, що забезпечують прийом інформації з різних датчиків та введення її після перетворення на систему обробки даних. Мікроконтролерний пристрій збору даних повинен забезпечувати максимальну ефективну продуктивність системи обробки інформації при обмеженнях на вартість пристроїв та вузлів системи, її масогабаритні показники. До завдань, що покладаються на пристрій збору даних, часто також відносять забезпечення можливості зміни складу датчиків і зміст обчислювальних завдань, що реалізуються.

# 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ПРОЕКТУВАННЯ

## 1.1 Принципи побудови систем керування

У пристроях управління об'єктами на основі мікроконтролерів апаратурні засоби та програмне забезпечення існують у формі неподільного апаратно-програмного комплексу. При проектуванні контролерів доводиться вирішувати одне з найскладніших завдань розробки, саме завдання оптимального розподілу функцій контролера між апаратурними засобами та програмним забезпеченням. Вирішення цього завдання ускладнюється тим, що взаємозв'язок та взаємовплив апаратурних засобів та програмного забезпечення в мікропроцесорній техніці зазнають динамічних змін. Якщо на початку розвитку мікропроцесорної техніки визначальним було правило, відповідно до якого апаратурні засоби забезпечують продуктивність, а програмне забезпечення дешевизну виробу, то в даний час це правило потребує серйозного коригування. Оскільки мікроконтролер є стандартний масовий логічний блок, конкретне призначення якого визначає користувач за допомогою програмного забезпечення, то зі зростанням ступеня інтеграції і, отже, функціональних можливостей мікроконтролера різко знижується вартість виробу в перерахунку на виконувану функцію, що в кінцевому підсумку та забезпечує досягнення високих технікоекономічних показників виробів на мікроконтролері. При цьому витрати на розробку програмного забезпечення виробу в 210 разів перевищують (за життя виробу) витрати на придбання та виготовлення апаратурних засобів.

В даний час найбільшого поширення набув методологічний прийом, при якому весь цикл розробки контролерів розглядається як послідовність трьох фаз проектування:

1. аналізу завдання та вибору апаратурних засобів контролера;
2. розробка прикладного програмного забезпечення;
3. комплексування апаратурних засобів та програмного забезпечення у прототипі контролера та його налагодження.

Типова структура мікропроцесорної системи керування складається з об'єкта управління, мікроконтролера та апаратури їхнього взаємного зв'язку.

Мікроконтролер шляхом періодичного опитування інформаційних слів генерує відповідно до алгоритмом управління послідовності керуючих слів. Поінформувальні слова це сигнали стану об'єкта, сформовані датчиками об'єкта управління, та прапори. Вихідні сигнали датчиків внаслідок їх різної фізичної природи можуть вимагати проміжного перетворення на аналогоцифрових перетворювачах або схемах формувачів сигналів, які найчастіше виконують функції гальванічної розв'язки і формування рівнів двійкових сигналів стандарту ТТЛ. Мікроконтролер із необхідною періодичністю оновлює керуючі слова у своїх вихідних портах. Деяка частина керуючого слова інтерпретується як сукупність прямих двійкових сигналів управління, які через схеми формувачів сигналів (підсилювачі потужності, реле, оптрони тощо) надходять на виконавчі механізми та пристрої індикації. Інша частина управляючого слова є упаковані двійкові коди, які через цифро-аналогові перетворювачі впливають на виконавчі механізми аналогового типу. Якщо об'єкт керування використовує цифрові датчики та цифрові виконавчі механізми, наявність ЦАП і АЦП в системі не обов'язково. До складу апаратури зв'язку, яка, як правило, будується на інтегральних схемах серії ТТЛ, входить регістр прапорів, на якому фіксується деяка кількість ознак, що специфікуються як об'єкта управління, так і процесу роботи контролера. Цей регістр прапорів використовується як апаратурний засіб реалізації механізму взаємної синхронізації щодо повільних і ймовірнісних процесів в об'єкті управління та швидких процесів у контролері. Регістр прапорів доступний як для контролера, так і для датчиків. Внаслідок цього він є зручним місцем фіксації сигналів «готовий»/«очікування» під час передач з квитуванням або сигналів «запит переривання»/«підтвердження» при взаємодії контролера та об'єкта в режимі переривання. Якщо МК система має багаторівневу систему переривань, то регістр прапорів містить схему упорядкування пріоритетів. Для апаратурної реалізації тимчасових затримок, формування сигналів необхідної частоти і шпаруватості до складу апаратури зв'язку включають програмовані інтервальні таймери в тому випадку, якщо їх немає у складі мікроконтролера або їхня кількість недостатня.

Закони функціонування мікропроцесорної системи управління із структурою повністю визначаються прикладною програмою, що розміщується в резидентній пам'яті програм мікроконтролера. Іншими словами, спеціалізація контролера

типової структури на вирішення завдання управління конкретним об'єктом здійснюється шляхом розробки прикладних програм мікроконтролера та апаратури зв'язку мікроконтролера з датчиками та виконавчими механізмами об'єкта.

## **1.2 Застосування мікроконтролерів у сучасній промисловості**

Мікроконтролери є наймасовішими представниками мікропроцесорної електроніки. Інтегруючи в одному корпусі мікросхеми високопродуктивний процесор, оперативну та постійну пам'ять, а також набір периферійних пристроїв, мікроконтролери дозволяють з мінімальними витратами реалізувати широку номенклатуру систем керування різними об'єктами та процесами. Структурна організація, набір команд та апаратурно-програмні засоби введення/виводу інформації мікроконтролерів найкраще пристосовані для вирішення завдань управління та регулювання в приладах, пристроях та системах автоматички, а не для вирішення задач обробки даних. Мікроконтролери не є класичними електронно-обчислювальними машинами, так як фізична та логічна розділеність пам'яті програм і пам'яті даних виключає можливість модифікації або заміни (перезавантаження) прикладних програм мікроконтролерів під час роботи, що ускладнює їх використання як універсальні засоби обробки даних. Тому мікроконтролери знаходять широке застосування в промисловій автоматичці, контрольно-вимірювальній техніці, апаратурі зв'язку, побутовій техніці та багатьох інших галузях людської діяльності.

Системи управління є спеціалізованими рішеннями для контролю функціонування ІТ-інфраструктури. Такі системи часто застосовуються в сукупності системами моніторингу для збору даних та контролю параметрів системи управління. Для вирішення різних завдань у даних системах найчастіше застосовуються вбудовані рішення, що дозволяють автоматизувати технологічні процеси. Системи, що вбудовуються можна визначити як спеціалізовані мікропроцесорні системи, що безпосередньо взаємодіють з об'єктом контролю управління та, можливо, об'єднані з ним конструктивно. Це системи від контролера офісного дверного замку до інфокомунікаційної «начинки» заводів-



автоматів, інтелектуальних енергетичних систем, будівель, транспортних систем, розумних міст, будинків.

Основними особливостями обчислювальної системи, що вбудовується, є:

- робота у реальному масштабі часу (найчастіше);
- наявність сенсорів і виконавчого пристрою управління;
- автономність роботи (відсутність оператора, обмеження електроживлення);
- високі вимоги щодо надійності та безпеки функціонування;
- критичні застосування, пов'язані зі здоров'ям та життям людей.

Сучасні системи, що вбудовуються, знаходять застосування практично у всіх сферах діяльності людини – від контролю за домашніми електроприладами до застосування в ядерних реакторах та космічних апаратах. Системи управління та моніторингу різних об'єктів, не могли б реалізовуватися без систем, що вбудовуються.

Приклади застосування систем, що вбудовуються.

Авіаційні та військові системи:

автопілоти літаків, авіоніка та навігаційні системи, системи автоматичної посадки, системи наведення, керування двигуном.

Споживча електроніка:

телевізори, духовки, посудомийні машини, DVD-плеєри, стереосистеми, системи безпеки, управління поливом газонів, термостати, фотокамери, годинники, автовідповідачі, декодери кабельного телебачення.

Промислове обладнання:

управління ліфтами, системи спостереження, роботи, верстати з ЧПУ, програмовані логічні контролери, промислові системи автоматизації та управління.

Роботизовані системи:

промислові роботи, автономні транспортні засоби, космічні дослідження (роботи-марсоходи, зонди, космічні станції).

Вбудовувані системи створюються з урахуванням мікропроцесорів чи мікроконтролерів. У будь-якому випадку в основі продукту лежить інтегральна схема, яка призначена для виконання обчислювальних операцій в реальному часі. Робота в реальному часі є вкрай важливою складовою в роботі

системи, що вбудовується, оскільки часто до таких систем застосовуються жорсткі критерії за часом відгуку керуючого виконавчого пристрою на прихід інформації з зовнішнього датчика.

Обчислювальні системи можуть бути представлені трьома групами елементів: обробники, пам'яті, інтерфейси. Мікроконтролери вбудовуваних систем проектуються як автономні системи, що містять безліч спеціалізованих елементів. Головною відмінністю мікропроцесорів від мікроконтролерів є спеціалізація мікроконтролерів, у той час як процесори можна застосовувати для будь-яких завдань, при підключенні відповідних пристроїв. Для опису мікроконтролерів часто використовується термін "система на кристалі" (System on Crystal, SoC), оскільки в сучасних системах управління та моніторингу існує тенденція до інтеграції периферії вбудованої системи та мікроконтролера в єдине ціле. Системи на кристалі складаються з трьох основних цифрових системних блоків: процесор, пам'ять і логічні компоненти. Процесорне ядро реалізує потік управління, коли кожною програмою, що управляє, однозначно встановлюються послідовності виконання операцій обробки даних, що дозволяє ставити один з можливих алгоритмів роботи всієї інтегральної схеми. Пам'ять використовується за прямим призначенням - зберігання коду програми процесорного ядра і даних. Нарешті, логічні компоненти використовують для реалізації спеціалізованих апаратних пристроїв обробки даних, склад і призначення яких визначаються кінцевим додатком. Типова схема системи на кристалі зазвичай включає також і набір периферійних пристроїв і контролерів: контролер переривань, таймери, контролер мережі, контролер послідовного каналу, контролер пам'яті, контролер ПДП (прямого доступу до пам'яті). Інтерфейси використовуються для обміну даними між системою на кристалі, зовнішніми пристроями та сенсорами, а також для програмування контролера з комп'ютера.

Системи на кристалі повинні мати певний набір характеристик, специфічних для сфери застосування системи, що вбудовується. Такі специфікації можуть, наприклад, включати розрядність процесорного ядра, можливість роботи в режимі зниженого енергоспоживання, вимоги до архітектури мікроконтролера, підтримку певних інтерфейсів, наявність таймерів, АЦП та іншої периферії.

### 1.3 Промислові інтерфейси в системах автоматизації

SPI (SPI bus – послідовний периферійний інтерфейс, шина SPI) – послідовний синхронний стандарт передачі даних у режимі повного дуплексу, призначений для забезпечення простого та недорогого високошвидкісного сполучення мікроконтролерів та периферії. SPI також іноді називають чотирипровідним інтерфейсом. На відміну від стандартного послідовного порту, SPI є синхронним інтерфейсом, в якому будь-яка передача синхронізована із загальним тактовим сигналом, що генерується провідним пристроєм (процесором). Приймаюча (відома) периферія синхронізує отримання бітової послідовності з тактовим сигналом. До одного послідовного інтерфейсу периферійного провідного пристрою-мікросхеми може приєднуватися кілька мікросхем. Провідний пристрій вибирає ведене передачі, активуючи сигнал «вибір кристала» на веденій мікросхемі. Периферія, не вибрана процесором, не бере участі у передачі SPI.

У SPI використовуються чотири цифрові сигнали:

MOSI – вихід ведучого, вхід веденого. Служить передачі даних від провідного пристрою веденому.

MISO – вхід ведучого, вихід веденого. Служить передачі даних від веденого пристрою ведучому.

SCLK або SCK – послідовний тактовий сигнал. Служить передачі тактового сигналу для ведених пристроїв.

CS чи SS — вибір мікросхеми, вибір веденого.

Конкретні імена портів інтерфейсу SPI можуть різнитися залежно від виробника апаратних засобів, у своїй можливості такі варіанти:

MISO: SOMI, SDO (на пристрої), DO, DON, SO, MRSR;

MOSI: SIMO, SDI (на пристрої), DI, DIN, SI, MTST;

SCLK: SCK, CLK, SPC (SPI serial port clock);

SS: nCS, CS, CSB, CSN, NSS, nSS, STE, SYNC.

#### **Синхронізація у SPI.**

Частота проходження бітових інтервалів в лініях передачі даних визначається синхросигналом SCK, який генерує провідний пристрій, ведені пристрої використовують синхросигнал для визначення моментів зміни бітів на

лінії даних, при цьому ведені пристрої ніяк не можуть впливати на частоту бітових інтервалів. Як у провідному пристрої, так і у веденому пристрої є лічильник імпульсів синхронізації (бітів). Лічильник у веденому пристрої дозволяє останньому визначити момент закінчення передачі пакета. Лічильник скидається при вимкненні підсистеми SPI, така можливість завжди є у провідному пристрої. У веденому пристрої лічильник зазвичай скидається деактивацією інтерфейсного сигналу SS. Оскільки дії провідного та веденого пристрою тактуються одним і тим самим сигналом, то до стабільності цього сигналу не пред'являється жодних вимог, за винятком обмеження на тривалість напівперіодів, яка визначається максимальною робочою частотою повільнішого пристрою. Це дозволяє використовувати SPI у системах із низькостабільною тактовою частотою, а також полегшує програмну емуляцію провідного пристрою.

### **Приєм та передача даних у SPI.**

Типова структура зв'язків та ліній інтерфейсу SPI.

Передача здійснюється пакетами. Довжина пакета, як правило, становить 1 байт (8 біт), при цьому відомі реалізації SPI з іншою довжиною пакета, наприклад, 4 біти. Провідний пристрій ініціює цикл зв'язку встановленням низького рівня на виведенні вибору підпорядкованого пристрою (SS) того пристрою, з яким необхідно встановити з'єднання. При низькому рівні SS:

- схемотехніка веденого пристрою перебуває у активному стані;
- виведення MISO переводиться в режим "вихід";
- тактовий сигнал SCLK від провідного пристрою сприймається веденим і викликає зчитування на вході MOSI значень, що передаються від провідного бітів і зсув регістру веденого пристрою.

Підлягають передачі дані провідне і ведене пристрої поміщають у зсувні регістри. Після цього провідний пристрій починає генерувати імпульси синхронізації лінії SCLK, що призводить до взаємного обміну даними. Передача даних здійснюється біт за бітом від провідного лінії MOSI і від веденого лінії MISO. Передача здійснюється, як правило, починаючи зі старших бітів, але деякі виробники допускають зміну порядку передачі бітів програмними методами. Після передачі кожного пакета даних провідний пристрій з метою синхронізації веденого пристрою може перевести лінію SS у високий стан.

## **Режими роботи інтерфейсу SPI.**

Тимчасові діаграми роботи інтерфейсу SPI:

при  $CPHA = 0$  червона вертикальна лінія;

при  $CPHA = 1$  синя вертикальна лінія.

Можливі чотири режими синхронізації. Режим визначається комбінацією біт  $CPHA$  та  $CPOL$ :

$CPOL = 0$  - вихідний стан сигналу синхронізації - низький рівень;

$CPOL = 1$  - вихідний стан сигналу синхронізації - високий рівень;

$CPHA = 0$  - вибірка даних проводиться по передньому фронту (перемикання) сигналу синхронізації. Тобто з переключення з основного в протилежне йому;

$CPHA = 1$  - вибірка даних проводиться по задньому фронту (переключення) сигналу синхронізації. Тобто по перемикаю назад до основного з протилежного;

Для позначення режимів роботи інтерфейсу SPI прийнято таку угоду:

режим 0 ( $CPOL = 0, CPHA = 0$ );

режим 1 ( $CPOL = 0, CPHA = 1$ );

режим 2 ( $CPOL = 1, CPHA = 0$ );

режим 3 ( $CPOL = 1, CPHA = 1$ ).

Топологія систем зв'язку на базі SPI

У найпростішому випадку до ведучого пристрою підключено єдиний ведений пристрій та потрібен двосторонній обмін даними. У такому разі використовується трипровідна схема підключення. Інтерфейс SPI дозволяє підключати до одного провідного пристрою кілька ведених пристроїв, причому підключення може бути здійснено декількома способами.

**Радіальна структура зв'язку з кількома відомими пристроями через SPI.**

Перший спосіб дозволяє реалізувати радіальну структуру зв'язку (топологія типу "зірка"), його прийнято вважати основним способом підключення кількох ведених пристроїв. У цьому випадку для обміну більш ніж одним провідним пристроєм провідний пристрій повинен формувати відповідну кількість сигналів вибору веденого пристрою (SS). При обміні даними з веденим пристроєм, відповідний йому сигнал SS перетворюється на активний (низький)

стан, причому всі інші сигнали SS перебувають у неактивному (високому) стані. Виводи даних MISO ведених пристроїв з'єднані паралельно, при цьому вони перебувають у неактивному стані, а перед початком обміну один із виходів (вибраного веденого пристрою) переходить в активний режим.

### **Кільцева структура зв'язку з кількома відомими пристроями через SPI.**

Другий спосіб дозволяє реалізувати структуру зв'язку типу «кільце». В даному випадку для активації одночасно декількох ведених пристроїв використовується один сигнал SS, а висновки всіх даних пристроїв з'єднані послідовно і утворюють замкнутий ланцюг. При передачі пакета від провідного пристрою цей пакет отримує перший ведений пристрій, який, у свою чергу, транслює свій пакет наступного веденого пристрою і так далі. Для того, щоб пакет від провідного пристрою досяг певного веденого пристрою, провідний пристрій має надіслати ще кілька пакетів.

### **Переваги та недоліки інтерфейсу SPI.**

Переваги:

- повнодуплексна передача даних за замовчуванням;
- вища пропускну здатність порівняно з I<sup>2</sup>C або SMBus;
- можливість довільного вибору довжини пакета, довжина пакета не обмежена вісьмома бітами;
- простота апаратної реалізації:
  - нижчі вимоги до енергоспоживання порівняно з I<sup>2</sup>C та SMBus;
  - можливе використання в системах із низькостабільною тактовою частотою;
- провідним пристроям не потрібна унікальна адреса, на відміну від таких інтерфейсів, як I<sup>2</sup>C, GPIB або SCSI;
- використовується лише чотири висновки, що набагато менше, ніж для паралельних інтерфейсів;
- однонаправлений характер сигналів дозволяє при необхідності легко організувати гальванічну розв'язку між провідним та веденими пристроями;
- максимальна тактова частота обмежена лише швидкодією пристроїв, що у обміні даними.

Недоліки:

- необхідно більше висновків, ніж інтерфейсу I<sup>2</sup>C;
- пристрій не може керувати потоком даних;
- немає підтвердження прийому даних з боку веденого пристрою (провідний пристрій може передавати дані "у нікуди");
- немає визначеного стандартом протоколу виявлення помилок;
- відсутність офіційного стандарту, що унеможливорює сертифікацію пристроїв;
- по дальності передачі інтерфейс SPI поступається таким стандартам, як UART і CAN;
- наявність безлічі варіантів реалізації інтерфейсу;
- відсутність підтримки гарячого підключення пристроїв.

#### **1.4 Апаратні засоби систем керування**

PIС – серія мікроконтролерів, що мають гарвардську архітектуру та вироблені американською компанією Microchip Technology Inc. Назва PIС є скороченням від англ. peripheral interface controller, що означає "контролер інтерфейсу периферії". Назва пояснюється тим, що спочатку мікроконтролери серії PIС призначалися для розширення можливостей введення-виведення 16-бітових мікропроцесорів CP1600.

Під маркою PIС фірмою Microchip випускаються 8-, 16- та 32-бітові мікроконтролери та цифрові сигнальні контролери (DSC), відмінною особливістю яких є хороша наступність різних сімейств: програмна сумісність (загальні засоби розробки: безкоштовна IDE MPLAB, загальні бібліотеки, загальні стеки найбільш популярних протоколів передачі даних), сумісність за висновками, периферією, напругою живлення. Номенклатура налічує понад 500 різних контролерів з різними варіаціями периферії, що відрізняються обсягами пам'яті, кількістю висновків, продуктивністю, діапазонами напруги живлення, робочими температурами та ін.

Широка номенклатура, що дає можливість використання в конкретному виробі оптимального з точки зору ціни мікроконтролера (у тому числі наявність

в лінійці мікроконтролерів, що одноразово програмуються), низьке енергоспоживання, велика гнучкість і універсальність сімейства є причиною вибору PIC-контролерів виробниками електроніки як базового сімейства для своїх виробів.

### **8-бітові мікроконтролери.**

8-бітові мікроконтролери діляться на два великі сімейства: PIC10/12/16 та PIC18.

8-бітові мікроконтролери PIC10/12/16/18.

Ядра 8-бітових мікроконтролерів PIC10/12/16 можуть бути побудовані однією з двох архітектур: BASELINE та MID-RANGE.

### **Архітектура базового (BASELINE) сімейства.**

Архітектуру BASELINE мають ядра контролерів сімейства PIC10 та частина контролерів сімейств PIC12 та PIC16. Відмінні риси:

- ширина слова пам'яті програм: 12 біт;
- кількість машинних інструкцій, що підтримуються: 35;
- кількість висновків (контактів): від 6 до 28;
- дешевизна (проти іншими рішеннями фірми Microchip);
- підтримка широкого діапазону напруги живлення;
- можливість роботи при низьких напругах (застосовується, наприклад, у пристроях з батарейним живленням);
- низьке споживання струму;
- малі габаритні розміри корпусу;
- наявність вбудованої flash-пам'яті для програм.

### **Архітектура середнього (MID-RANGE) сімейства**

Архітектуру MID-RANGE мають ядра мікроконтролерів серій PIC12 та PIC16. Відмінні риси:

- ширина слова пам'яті програм: 14 біт;
- кількість машинних інструкцій, що підтримуються: 35;
- кількість висновків: від 6 до 64;
- робота в діапазоні напруги живлення від 2,0 до 5,5 В;
- малий струм споживання;
- підтримка системних переривань;



- апаратна підтримка стеку;
- наявність вбудованої flash-пам'яті для програм;
- наявність незалежної пам'яті типу EEPROM для даних;
- підтримка периферії (USB, SPI, I<sup>2</sup>C, USART, LCD, компараторів, АЦП тощо);
- продуктивність: 5 MIPS.

### **Розширена архітектура середнього (MID-RANGE) сімейства**

Розширену архітектуру MID-RANGE мають ядра нових мікроконтролерів сімейств PIC12 та PIC16. Відмінні риси:

- ширина слова пам'яті програм: 14 біт;
- кількість машинних інструкцій, що підтримуються: 35 основних та 14 додаткових (оптимізованих під компілятор мови C, що дозволяють знизити розмір коду на 40 %);
- збільшений обсяг пам'яті програм та даних;
- більш глибокий та покращений апаратний стек;
- додаткові джерела скидання;
- підтримка периферійних пристроїв з модулем mTouch™ (використовується для створення сенсорних інтерфейсів користувача);
- зменшений час входу в переривання;
- продуктивність збільшена до 8 MIPS.
- 8-бітові мікроконтролери PIC18

### **Відмінні риси мікроконтролерів сімейства PIC18F:**

- ширина слова пам'яті програм: 16 біт;
- можливість підключення наступної периферії: 10-бітових та 12-бітових АЦП, компараторів, ШІМ, захоплення/порівняння, драйверів, РКІ, периферії з інтерфейсами USB, CAN, I<sup>2</sup>C, SPI, USART, Ethernet, TCP/IP, ZigBee та ін.;
- продуктивність: до 16 MIPS;
- об'єм пам'яті програм: до 128 кБ;
- кількість висновків: від 18 до 100;
- підтримка технології NanoWatt;
- наявність програмованого генератора;

- напруги живлення, що підтримуються: 3,3 і 5 В;
- сумісність (програмна, за висновками, за периферійними модулями) з іншими контролерами цього сімейства та з 16-бітовими контролерами інших сімейств.

### **16-бітові контролери.**

Компанія Microchip виробляє два сімейства 16-розрядних мікроконтролерів (MCU) та два сімейства 16-розрядних цифрових сигнальних контролерів (DSC), які дають розробникам сумісні платформи з великим вибором типів корпусів, периферійних модулів та швидкодії. Основні риси всіх 16-розрядних сімейств:

- ширина слова пам'яті програм: 24 біт;
- сумісність з висновків;
- єдина система команд;
- загальні компілятори Сі та засоби розробки;
- кількість висновків: від 18 до 100;
- обсяг flash-пам'яті: від 6 до 536 Кб.

### **16-бітові мікроконтролери PIC24F та PIC24H.**

Основні особливості:

виконання команди за 2 такти генератора;

- гарантований час відгуку на переривання – 5 командних тактів;
- доступ до пам'яті (зокрема інструкції читання-модифікації-запису) за 1 командний такт;
- апаратний помножувач (за 1 такт);
- апаратний дільник 32/16 та 16/16 чисел (17 командних тактів);
- діапазон напруги живлення 1.8 ... 3,6 В, одне джерело живлення;
- внутрішньосхемне та самопрограмування;
- вбудований генератор із PLL;
- розширена периферія (до 3 SPI, до 3 I2C, до 4 UART (за допомогою IrDA, LIN), CAN (і розширений ECAN), USB OTG);
- модуль виміру часу заряду (CTMU), основне застосування - управління ємнісними сенсорами;
- струм портів введення-виведення загального призначення - 18 мА;

- порти толерантні до пристроїв з живленням 5;
- підтримка до дев'яти 16-бітових таймерів загального призначення;
- підтримка до восьми модулів захвату;
- підтримка кількох енергозберігаючих режимів;
- підтримка до двох АЦП (32 канали) з конфігурованою розрядністю;
- підтримка до восьми 16-бітових модулів порівняння/генерації ШІМ;
- програмне перепризначення висновків (PPS);
- прямий доступ до пам'яті DMA (PIC24H);
- розширений набір інструкцій;
- 16 ортогональних регістрів загального призначення;
- векторна пріоритетна система переривань;
- та інші особливості (методи адресації, апаратні цикли).

16-бітові мікроконтролери представлені у двох модифікаціях - PIC24F і PIC24H, що відрізняються технологією виготовлення flash-пам'яті програм. Це визначає діапазон напруги живлення — для PIC24F — 2,0...3,6 В, для PIC24H — 3,0...3,6 В.

Контролери першого сімейства (PIC24F) виробляються за дешевшою технологією (0,25 мкм) та працюють з максимальною продуктивністю ядра (16 MIPS, 32 МГц). Контролери другого сімейства (PIC24H) виробляються з використанням складнішого техпроцесу, що дозволяє досягти більшої швидкості роботи (40 MIPS, 80 МГц). Контролери обох сімей підтримують внутрішньосхемне програмування (ICSP) та самопрограмування (RTSP).

### **32-бітові мікроконтролери.**

Відмінні риси сімейства 32-розрядних мікроконтролерів PIC32:

- розрядність: 32 біти;
- ядро: MIPS32 M4K;
- частота тактування ядра: до 120 МГц (для серії MX) та до 200 МГц (для серії MZ) [джерело не вказано 2156 днів];
- виконання більшості команд за 1 такт генератора;
- продуктивність: 1.53 Dhrystone MIPS/МГц;
- порти вводу-виводу відносяться до основного частотного діапазону, таким чином, наприклад, можна смикати портами з тактовою частотою;

- додатковий частотний діапазон організується для периферії з основного за допомогою програмно налаштованого дільника, таким чином, частота тактування периферії може бути знижена для зниження енергоспоживання;
- кількість висновків: 28, 44, 64 та 100;
- об'єм SRAM: до 128 кБ;
- об'єм flash-пам'яті: 512 кБ із кешем передвиборки;
- сумісність з висновків та налагоджувальних засобів з 16-бітовими контролерами фірми Microchip;
- апаратний помножувач-дільник із незалежним від основного ядра конвеєром, оптимізованим за швидкістю виконання;
- набір розширених 16-бітових інструкцій MIPS16e™, що дозволяє зменшити розмір коду деяких програм на 40%;
- незалежний від основного ядра контролер USB.

Сімейство 32-розрядних мікроконтролерів PIC32 виділяється значно збільшеною продуктивністю та об'ємом пам'яті на кристалі порівняно з 16-розрядними мікроконтролерами та контролерами цифрової обробки сигналів PIC24/dsPIC. Контролери PIC32 також оснащені великою кількістю периферійних модулів, включаючи різні комунікаційні інтерфейси - ті ж, що у PIC24, та 16-бітовий паралельний порт, який може використовуватися, наприклад, для обслуговування зовнішніх мікросхем пам'яті та рідкокристалічних TFT-індикаторів.

Сімейство PIC32 побудоване на ядрі MIPS32®, що відрізняється низьким споживанням енергії, швидкою реакцією на переривання, функціональністю засобів розробки та швидкодією 1.53 Dhrystone MIPS/МГц, що лідирує у своєму класі. Така швидкодія досягнута завдяки ефективному набору інструкцій, 5-ступінчастому конвеєру, апаратному помножувачу з накопиченням та кількома (до 8) наборами 32-розрядних регістрів ядра.

## 1.5 Постановка задачі проектування

У результаті літературного огляду та аналізу наявних тенденцій у побудові електронних засобів збору аналогової та дискретної інформації можна зробити такі висновки:

- через збільшення кількості контрольованих параметрів (отже, каналів введення даних), необхідності попередньої обробки отриманих даних, забезпечення спрощеної модифікації систем збору, необхідності їх зв'язку з ЕОМ, проєктований пристрій повинен бути реалізований за допомогою програмно-керованої логіки;

- у промислових додатках в пристроях збору інформації все більшого поширення знаходять мікроконтролери (однокристальні ЕОМ) у зв'язку з реалізацією всередині кристала пам'яті програм і пам'яті команд, безлічі різних периферійних вузлів: портів введення-виводу, таймерів/лічильників, генератора імпульсів і т.д. що призводить до економії апаратних витрат, скорочення кількості зв'язків між МК та периферійними пристроями, збільшенням надійності пристрою збору.

З урахуванням вищенаведених особливостей побудови мікроконтролерного пристрою збору даних та умов його застосування сформулюються такі технічні вимоги:

- збір даних із 15 аналогових датчиків;
- перетворення аналогових сигналів у діапазоні 0-3 на цифровий код з точністю  $\delta = 0,05$ ;
- період опитування датчиків  $T = 220$  мкс;
- дозволені адреси портів вводу-виводу 16-31g;
- обчислення у реальному масштабі часу значення функції

$$Y(t) = \frac{U_2}{1} + \frac{U_3}{2} + \dots + \frac{U_i}{i-1} + \dots + U_1,$$

де  $U_i$  - значення  $i$ -го датчика;

- відображення  $Y(t)$  на дискретному індикаторі.

## 2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ТА АЛГОРИТМУ РОБОТИ МІКРОКОНТРОЛЕРНОГО ПРИСТРОЮ ЗБОРУ ДАНИХ

### 2.1 Структурна схема мікроконтролерного пристрою збирання даних

Розробка структурної схеми мікроконтролерного пристрою збору даних (МКУ) виробничого процесу передбачає:

- 1) визначення функціонального складу вхідних блоків;
- 2) встановлення необхідних електричних зв'язків між блоками;
- 3) розрахунок та обґрунтування технічних вимог до зазначених блоків.

МКУ слід будувати за модульно-блочним принципом із шинною організацією зв'язків між блоками (рисунок 1) [3, 4]. Структура контролера має трьохштинну організацію і складається з наступних функціонально закінчених блоків: блок 1 аналогового введення (БАВ), перший інтерфейсний блок 2 (ПІБ), блок 3 процесора (БП), блок пам'яті 4 програм (БПП), блок 5 пам'яті даних (БПД), другий інтерфейсний блок 6 (ВІБ) та блок 7 відображення даних (БОД).

БАВ служить для підключення обраного аналогового датчика до МКУ за адресою, заданою БП, перетворення значення аналогового сигналу в цифровий код за сигналом "Start" і формування сигналу "Ready" після закінчення перетворення.

Число вхідних каналів БАВ –  $P = 15$ . З погляду зменшення апаратних витрат приймемо схему побудови БАВ з урахуванням комутації виходів датчиків однією вхід АЦП. У цьому випадку розрядність адреси датчика

$$n_a = \lceil \log_2 P \rceil = \lceil \log_2 15 \rceil = 4.$$

Для визначення розрядності цифрового коду, що відповідає точності  $\delta$ , скористаємося такою нерівністю [1]

$$n_{цк} \geq -\log_2 \delta = -3,33 \cdot \lg \delta = -3,33 \cdot \lg 0,05 = 4,3;$$

отже, вибираємо  $n_{цк} = 5$ .

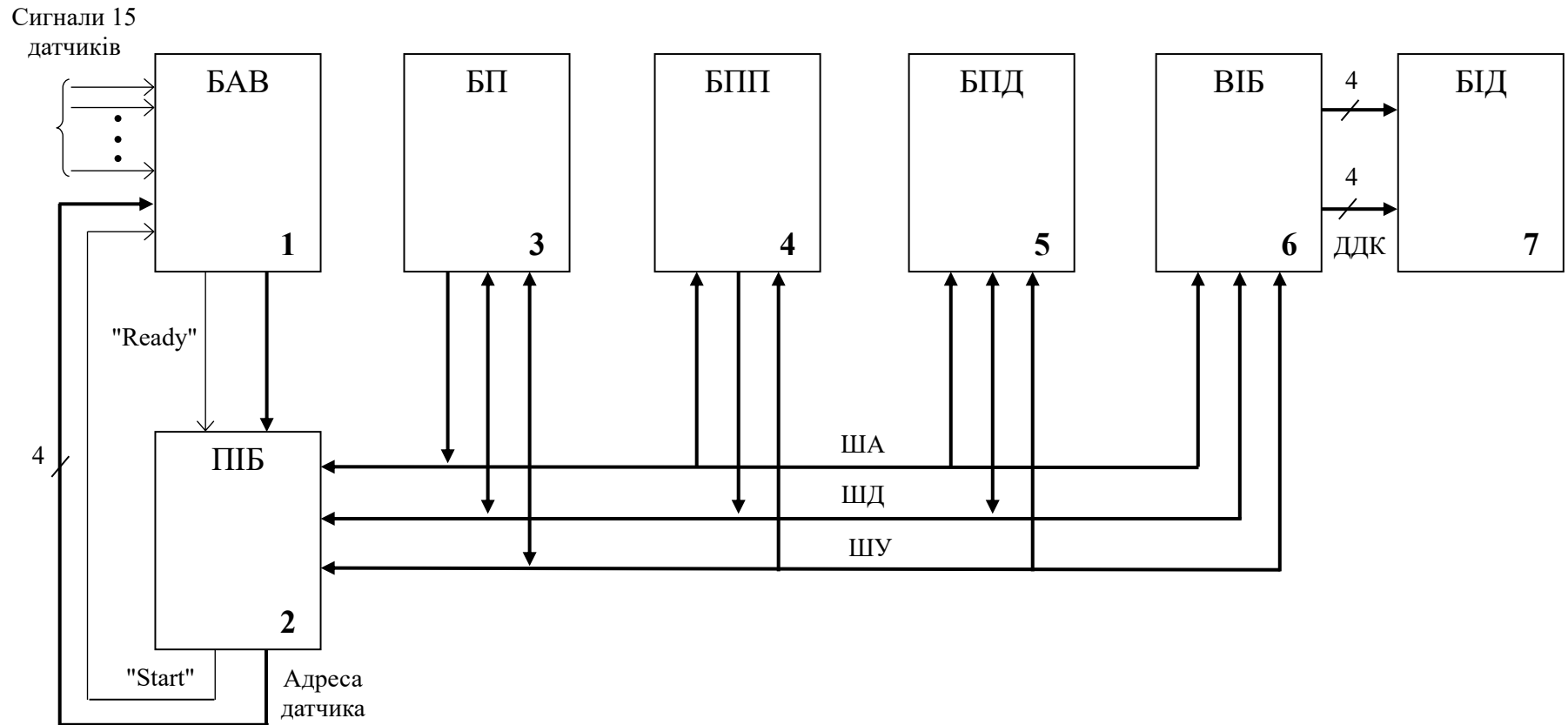


Рисунок 1 – Структурна схема мікроконтролерного пристрою збору даних

Час перетворення в БАВ аналогового сигналу на цифровий код має бути не більш ніж

$$t_{\text{пр}} \leq \frac{T}{P+1}.$$

При  $T = 220$  мкс та  $P = 15$  отримуємо

$$t_{\text{пр}} \leq \frac{220}{15+1} = 13,75 \text{ мкс}$$

ПІБ служить для поєднання БАВ з БП шляхом забезпечення

- 1) однакових складу та призначення використовуваних сигналів;
- 2) відповідності однакових рівнів сигналів за напругою та струмом;
- 3) відповідності контактів та самих роз'ємних з'єднувачів.

БП призначений для управління процесом перетворення інформації та виконання типових арифметичних операцій з метою обчислення заданої функції. Завдання, що виконуються МКУ та мають промисловий характер, орієнтують на реалізацію БП на основі вбудованого мікроконтролера (однокристальної ЕОМ). Вбудований мікроконтролер (МК) об'єднує однією кристалі всі необхідні вузли мікроЕОМ: оперативну і постійну пам'ять, паралельні порти вводу-виводу, послідовне введення-виведення, таймери-лічильники.

БПІ призначений для зберігання програм з ініціалізації МКУ, опитування датчиків, обчислення значення функції  $Y(t)$  та відображення її значення БОД.

Ємність постійної пам'яті вибирається з умови

$$C_{\text{ПІ}} \geq N_{1\text{бк}} + 2 \cdot N_{2\text{бк}} + 3 \cdot N_{3\text{бк}} \text{ (байт)}, \quad (1)$$

де  $N_{1\text{бк}}$ ,  $N_{2\text{бк}}$ ,  $N_{3\text{бк}}$  – числа команд однобайтового, двобайтового та трибайтового формату в системі команд МК, що використовуються у програмі, розробленій для проектного МКУ.

БПД служить для проміжного зберігання цифрових кодів сигналів датчиків та результатів обчислень. Місткість пам'яті даних МКУ визначається виходячи з необхідної кількості осередків пам'яті, необхідних для зберігання цифрових кодів 15 датчиків та значення обчисленої функції  $Y(t)$ , представленої в двійково-десятковому коді (ДДК).

ВІБ служить для поєднання БП з БОД аналогічно ПІБ.



БІД виводить дані у чотирирозрядному ДДК – значення  $Y(t)$  – на дискретний індикатор. Число розрядів індикатора (знакоміць) визначається максимальним значенням  $Y(t)$  та її мінімальним кроком збільшення.

Максимальне значення заданої функції з огляду на те, що за умовою  $U_{1\max} = U_{2\max} = \dots = U_{12\max} = 3$  В:

$$Y_{\max}(t) = \frac{U_{2\max}}{1} + \frac{U_{3\max}}{2} + \dots + \frac{U_{i\max}}{i-1} + \dots + U_{1\max} = \frac{3}{1} + \frac{3}{2} + \frac{3}{3} + \dots + 3 \approx 12,05 \text{ В.}$$

Оскільки  $Y_{\max}(t)$  є двозначним числом, число розрядів індикатора перед комою, тобто. цілої частини, має бути одно двом.

Мінімальний крок  $\Sigma$  збільшення для функції  $Y(t)$  визначається точністю перетворення  $\delta$  та максимальним значенням  $U_{\max}$  сигналу датчика:

$$\Sigma = U_{\max} \cdot \delta = 3 \cdot 0,05 = 0,15 \text{ В.}$$

Отже, кількість розрядів після коми, тобто. дробової частини, у числа  $\Sigma$  дорівнює 2. Отже, число знакоміць індикатора для відображення дробової частини  $Y(t)$  також має дорівнювати 2.

Підсумовуючи кількість необхідних розрядів до і після коми для  $Y(t)$ , отримуємо загальну кількість розрядів індикатора БОД рівну 4. При такому числі знакоміць індикатора застосуємо статичний принцип індикації зі шпаруватістю імпульсів індикації рівною 1. Вибраний принцип спрощує схему управління індикаторами [6]. На кожен розряд БОД приділяється сигнал завантаження чотирирозрядного ДДК десяткової цифри значення  $Y(t)$  (рисунок 1).

## **2.2 Алгоритм роботи мікроконтролерного пристрою збирання даних**

Алгоритм роботи МКУ у загальному вигляді є послідовність операцій, вкладених у виконання завдань збору аналогових даних, їх перетворення на цифровий код, завантаження цифрових даних на згадку, обчислення заданої функції  $Y(t)$  і відображення її значення на індикаторі. Події алгоритму мають циклічно повторюватися.

Вид алгоритму функціонування МКУ наведено на рисунку 2.

На початку роботи кроком 1 усі блоки МКУ встановлюються у вихідний стан. Блок БП адресує початкову комірку пам'яті БПП, що містить першу команду програми МВСД (рисунок 1). БП формує адресу датчика, який буде опитуватися, і завантажує його через ПІБ в БАВ (кроки 2-3). БАВ комутує вихід датчика згідно з адресою



Рисунок 2 – Алгоритм роботи МКУ

вхід АЦП. Далі, кроком 4 БП подає сигнал "Start" на БАВ, запускаючи цим перетворення аналогового сигналу в цифровий код (крок 5). Під час аналого-цифрового перетворення БП зчитує коди датчиків з БПД, проводить обчислення  $Y(t)$  (крок 6) і завантажує ДДК десяткових цифр  $Y(t)$  в БОД (крок 7). Далі, на кроці 8 МУСД перевіряє наявність команди (або сигналу) вимкнення. Дані дії проводяться циклічно до отримання запиту переривання – сигналу "Ready" від БАВ, поява якого перевіряється умовним оператором на кроці 9. Приймавши сигнал "Ready" БП виходить із циклу (кроки 6-9) і переходить до дії кроку 2 – формування нової адреси датчика. Далі дії алгоритму роботи МУСД повторюються.

### 3 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ МІКРОКОНТРОЛЕРНОГО ПРИСТРОЮ ЗБОРУ ДАНИХ

Блок процесора МКУ пропонується виконати на основі вбудованого однокристального МК. Обґрунтуванням такого функціонального рішення є те, що

- МК за своїми функціональними можливостями та технічними характеристиками орієнтовані на реалізацію управління різними приладами та пристроями, де істотна увага приділяється швидкості обробки даних та ефективному поєднанню з різними датчиками;
- МК реалізують на одному кристалі блоки пам'яті та інтерфейсні блоки структурної схеми МКУ (рисунок 1).

В результаті застосування МК у складі МКУ дозволить задовольнити необхідний період комутації  $T = 220$  мкс, зменшити апаратні витрати та спростити схемотехнічну реалізацію пристрою за рахунок реалізованих всередині мікроконтролера БПП, БПД, ПІБ та ВІБ.

Використовуваний МК повинен мати мінімум чотири портами вводу-виводу з можливістю окремого налаштування кожної лінії порту на введення або виведення. Один порт слід виділити прийому цифрових кодів датчиків, другий порт необхідно надати для видачі адреси датчика, третій порт – для видачі ДДК цифр значення  $Y(t)$  на індикатор, а четвертий порт можна використовуватиме формування зовнішніх керуючих сигналів. Крім того, слід застосувати МК із вбудованим генератором тактових сигналів та розширеною системою переривань, щоб додатково зменшити кількість навісних дискретних елементів та обслуговуючих МК інтегральних мікросхем (ІМС).

Блок аналогового введення повинен здійснювати аналого-цифрове перетворення за час  $t_{пр} = 13,75$  мкс (див. розділ 1). При цьому вихідний код повинен мати число розрядів  $n_{цк} = 5$ . Отже, використовуваний АЦП повинен мати число висновків, на яких формується цифровий код, не менше 5. З урахуванням часу перетворення АЦП слід вибрати швидкодіючим. Так як АЦП вбудовується в мікропроцесорний пристрій, необхідно передбачити наявність та використання у АЦП входу "Start" і виходу "Ready". При появі сигналу на вході "Start" повинен починатися цикл аналого-цифрового перетворення, а сигнал на

виході "Ready" означає завершення циклу перетворення та готовність видати отриманий цифровий код. Використання сигналів "Start" та "Ready" спрощує алгоритм функціонування МКУ.

Вибір датчика, що опитується, повинен здійснюватися аналоговим комутатором, якому необхідно мати 15 каналів введення. Кожному аналоговому датчику виділяється окремий канал введення комутатора. Управління підключенням вхідного каналу одного виходу комутатора має бути кодовим. Як код управління комутатором буде використовуватися двійкова адреса датчика з розрядністю  $n_a = 4$  (підрозділ 2.1).

Загальна кількість розрядів індикатора БОД дорівнює 4. При такому числі знайомих індикатора можна застосувати статичний принцип індикації, який передбачає просту схему управління індикацією [5]. При цьому шпаруватість імпульсів індикації з метою спрощення апаратної частини управління відображенням значення  $Y(t)$  на БОД пропонується взяти рівною 1. На кожен розряд знайомиця БОД відводиться свій сигнал завантаження чотирирозрядного ДДК значення  $Y(t)$ .

## **4 РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВИХ СХЕМ БЛОКІВ МІКРОКОНТРОЛЕРНОГО ПРИСТРОЮ ЗБОРУ ДАНИХ**

### **4.1 Блок процесора**

Стандартом 8-розрядних МК на сьогоднішній день є мікроконтролерне сімейство MCS-51. Поширеним представником цього сімейства є МК 8051НА фірми Intel [1, 5]. 8051НА – однокристална 40-вивідна мікроЕОМ, що виготовляється за nМОП-технологією. МК 8051НА містить 8-розрядний процесор; постійне запам'ятовуючий пристрій, що використовується як пам'ять програм; оперативний запам'ятовуючий пристрій, що використовується як пам'ять даних; програмовані таймери/лічильники; програмовані паралельні порти введення-виводу; схему для організації векторного переривання; вбудований генератор тактових сигналів та схему управління та синхронізації.

Основні характеристики МК 8051НА:

- максимальна частота синхронізації 12 МГц;
- число портів/ліній введення-виводу 4/32;
- пам'ять даних обсягом 128 байт;
- пам'ять програм, що репрограмується, об'ємом 4 Кбайт;
- можливість розширення зовнішньої постійної пам'яті до 64 Кбайт;
- можливість розширення зовнішньої пам'яті даних до 64 Кбайт;
- 20регістрів спеціального призначення;
- число зовнішніх рівнів переривання 2;
- число таймерів/лічильників 2;
- наявність послідовного дуплексного порту;
- наявність команд побитої обробки даних;
- потужність, що розсіюється близько 1,5 Вт;
- одне джерело живлення  $+5\text{ В} \pm 10\%$ ;
- за входами та виходами сумісність із ІМС серії ТТЛ.

МК8051НА виконує арифметичні та логічні операції на двійковими та двійково-десятковими числами, а також операції з окремими бітами. Система команд МК складається 44% однобайтових, 41% двобайтових та 15%

трибайтових команд. При частоті тактового генератора 12 МГц 58% команд виконується за 1 мкс та 40% – за 2 мкс.

Включення МК 8051НА пристрій збору даних здійснюється наступним чином (рисунок 3). Порт P0 (4 лінії P0.0-P0.3) видає адресу датчика, що опитується, для БАВ. Лінія P0.4 призначена передачі сигналу запуску аналого-цифрового перетворення "Start". Навантажувальна здатність кожного виведення P0 – два входи ІМС ТТЛ. Порт P1 (5 ліній P1.0-P1.4) налаштовується для введення цифрового коду сигналу датчика з БАВ. Порт P2 призначається до роботи з БОД. Лінії P2.0-P2.3 видають ДДК значення обчисленої Y(t). Лінії P2.4-P2.7 формують сигнали завантаження ДДК відповідні регістри розрядів дискретного індикатора БОД. Навантажувальна спроможність портів P2 - один вхід ІМС ТТЛ. З ліній порту P3 використовується тільки виведення P3.4, який служить прийому сигналу переривання "Ready" з БАВ.

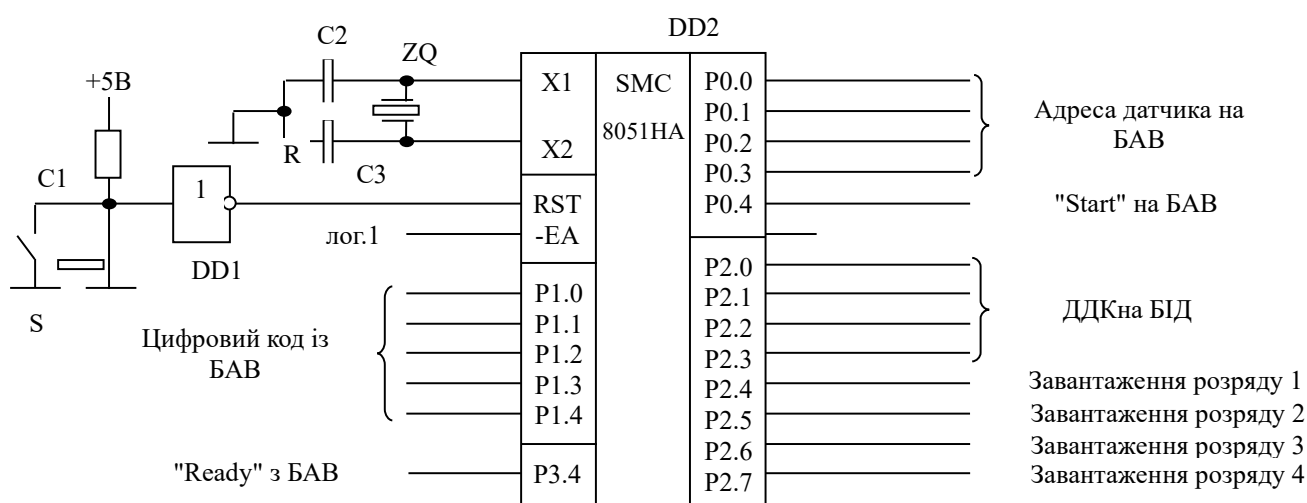


Рисунок 3 – Схема включення 8051НА до МКУ

До зовнішніх висновків X1 і X2 МК підключається кварцовий резонатор ZQ-14318 для стабілізації частоти синхронізації сигналів  $f_c = 12$  МГц, які виробляються внутрішнім генератором. На основі сигналів синхронізації формується машинний цикл фіксованої тривалості  $t_{мц}$ , що дорівнює 12 періодам тактової частоти:

$$t_{мц} = 12/f_c = 12/12 \text{ МГц} = 1 \text{ мкс.}$$

Конденсатори С2 та С3 ємності 30 пФ служать для підстроювання частоти синхронізації до 12 МГц.

Переведення МК 8051НА у початковий стан здійснюється одиничним сигналом на вході RST, який формується елементом НЕ DD1 при включенні живлення контролера або при натисканні кнопки скидання S. Як DD1 застосовується ІМС КР1533ЛН1. Тривалість сигналу скидання має бути щонайменше двох машинних циклів, тобто. більше або дорівнює 2 мкс. Номінальне значення резистора R часозадаючою ланцюжка розраховуємо виходячи з необхідності забезпечення струму двійкової одиниці на вході DD1:

$$R \geq \frac{U_{п} - U_{вх1}}{I_{вх1}} = \frac{5 - 2,6}{0,4 \cdot 10^{-3}} = 6 \cdot 10^3 \text{ Ом,}$$

де  $U_{п} = 5$  - напруга живлення;

$U_{вх1} \geq 2,6$  В - вхідна напруга двійкової одиниці для ІМС КР1533ЛН1;

$I_{вх1} \leq 0,4$  мА - вхідний струм двійкової одиниці для ІМС КР1533ЛН1.

Вибираємо  $R = 6,2$  кОм. Враховуючи, що час заряду конденсатора С1

$\tau_{C1} \geq 2$  мкс, вибір значення С1 виконаємо на основі умови

$$C1 \geq \tau_{C1} / R = 2 \cdot 10^{-3} / 6,2 \cdot 10^3 = 0,32 \cdot 10^{-6}.$$

Вибираємо  $C1 = 0,33$  мкф.

Оскільки використовується зовнішня пам'ять програм, то вхід -ЕА постійно подається двійкова одиниця.

## 4.2 Блок аналогового введення даних

Блок аналогового введення повинен здійснювати аналого-цифрове перетворення за час  $t_{пр} = 13,75$  мкс (підрозділ 2.1). У цьому вихідний код повинен мати число розрядів  $n_{цк} = 5$ , а розрядність адреси датчика  $n_a = 4$ .

Виходячи із заданої максимальної напруги на виході датчиків  $U_{max} = 3$  В і знайдених  $n_{цк}$  і  $t_{пр}$  вибираємо ІМС К1108ПВ1 (рисунок 4) [7]. К1108ПВ1 являє собою 10-розрядний швидкодіючий функціонально закінчений АЦП послідовного наближення. ІМС розрахована на перетворення однополярної вхідної напруги 0...3 при максимальній частоті перетворення 1,1 МГц для 10-розрядного режиму і 1,33 МГц для 8-розрядного. Час перетворення АЦП



становить  $t_{АЦП} = 0,9$  мкс (у режимі укороченого циклу  $t_{АЦП} = 0,75$  мкс), що менше за необхідне  $t_{np} = 13,75$  мкс.

Для роботи АЦП К1108ПВ1 потрібно кілька зовнішніх керамічних конденсаторів і джерела напруги  $5 \text{ В} \pm 5\%$  і  $5,2 \text{ В} \pm 5\%$ . Потужність, що споживається джерел живлення, вбирається у  $0,85$  Вт.

Диференціальна нелінійність АЦП –  $\pm 4\%$  значення молодшого розряду. Схема включення АЦП у блоці введення аналогових даних наведено малюнку 4.

Роздільна здатність зчитування цифрового коду з виходів 3-10 АЦП здійснюється подачею двійкового нуля на вхід -ER. Оскільки передбачається використання внутрішнього генератора тактових імпульсів, до входу ІМС СЛ АЦП підключається конденсатор  $C2 = 40$  пФ (відповідно внутрішня частота коливань  $1,3$  МГц).

Для формування коду датчика застосовуються висновки АЦП 3-7. При цьому ІМС К1108ПВ1 переводиться в режим укороченого циклу шляхом підключення входу 10/8 до джерела живлення  $5,2 \pm 5\%$ .

Конденсатори  $C3 = 1$  мкФ та  $C4 = 0,47$  мкФ підключаються для частотної корекції внутрішнього операційного підсилювача та фільтрації перешкод. Запуск АЦП виконується подачею негативного перепаду (сигнал Start) на вхід -ST. Завершення перетворення аналогового сигналу фіксується появою двійкового нуля на виході -RD, який подається висновку Р3.4 МК. Подача аналогового сигналу 0...3 здійснюється на вхід UI.

Вибір опитуваного датчика здійснюється аналоговим комутатором, який підбирається на основі необхідного числа вхідних каналів, допустимої величини напруги, що комутується, напруги джерела живлення і часу перемикавання. Для реалізації схеми, що комутує, пропонується ІМС К591КН1 [5]. При застосуванні даного аналогового комутатора слід врахувати, що напруга двійкової одиниці на цифрових входах має бути не менше  $4-4,1$  В. Водночас вихідна напруга двійкової одиниці мікросхем ТТЛ (ТТЛШ) становить величину не менше  $2,6$  В. з цим на цифрові входи комутатора DD2 адреси датчиків подаються через інвертори DD1, що допускають підвищену колекторну напругу. При цьому значення опорів  $R1 = R2 = R3 = R4$  обчислюються таким чином:

$$R_1 = \frac{U_{\text{ин}} - U_{\text{пл}}}{I_{\text{вых1}}} = \frac{5 - 4,1}{0,8 \cdot 10^{-3}} = \frac{0,9}{0,8 \cdot 10^{-3}} \approx 1125 \text{ Ом,}$$

де  $U_{un} = 5$  - напруга джерела живлення;

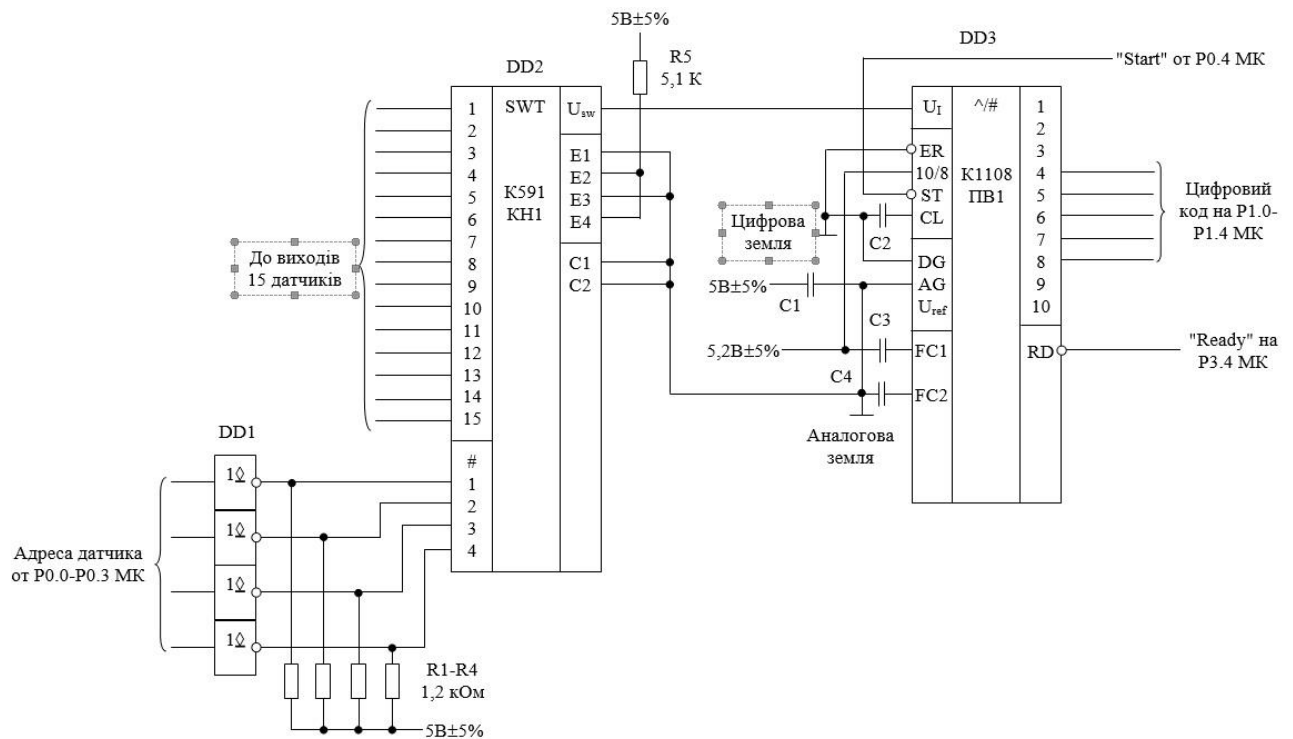


Рисунок 4 – Схема блока аналогового введення даних

$U_{л1} = 4,1$  В- Необхідна напруга двійкової одиниці;

$I_{вих1} = 0,8$  мА - вихідний струм двійкової одиниці.

Вибираємо  $R1 = R2 = R3 = R4 = 1,2$  кОм. Як ІМС інверторів DD1 з відкритим колектором пропонується застосувати КР1533ЛН2.

### 4.3 Схема блоку відображення даних

БІД виводить дані у чотирирозрядному ДДК (лінії P2.0-P2.3) на дискретний індикатор. Загальна кількість розрядів індикатора БОД дорівнює 4. При такому числі знайомих індикатора можна застосувати статичний принцип індикації, який передбачає просту схему управління індикацією [6]. При цьому шпаруватість імпульсів індикації з метою спрощення апаратної частини управління відображення значення  $Y(t)$  на БОД пропонується взяти рівною 1. На кожен розряд БОД відводиться свій сигнал завантаження (лінії P2.4-P2.7)

чотирирозрядного ДДК десяткової цифри значення  $Y(t)$  (рисунок 5). Крім того, схемотехнічні рішення щодо побудови БОД залежать від мінімальних сили  $I$  світла та висоти  $h$  елемента відображення індикатора. Для проєктованого контролера приймається, що  $I \approx 0,15$  мкд і  $h \approx 7$  мм.

Схема БОД включає регістри DD2-DD5, призначені для проміжного зберігання відображуваних даних (рисунок 5). Як регістри для БОД застосовуються регістри-заскочки K514ПР1, які одночасно виконують функцію перетворення ДДК в 7-розрядний код 7-сегментного напівпровідникового індикатора АЛС 324Б [5]. ІМС K514ПР1 інвертують вихідний код, які вихідні каскади задля забезпечення необхідних прямих струмів через світлодіодні елементи побудовані за схемою з відкритим колектором. Вибір індикатора АЛС324Б пов'язаний з тим, що

- сила світла елемента відображення індикатора становить щонайменше 0,15 мкд;
- напівпровідниковий індикатор вимагає джерело живлення +5 і має малі масогабаритні показники;
- загальним електродом у світлодіодних елементах даного індикатора є анод, що узгоджується з вихідними кодами регістрів K514ПР1 [6].

Для обмеження прямого струму  $I_{пр}$  через світлодіоди індикатора необхідно послідовно з ними включити обмежувальні резистори  $R_{огр}$  ( $R_1 = R_2 = \dots = R_{28} = R_{огр}$ ), значення опору яких розраховуються за такою формулою (з урахуванням значень опорів стандартного ряду):

$$R_{огр} \approx \frac{U_{п} - U_{пр}}{I_{пр}} = \frac{5 - 2,5}{20 \cdot 10^{-3}} \approx 120 \text{ Ом,}$$

де  $U_{п} = 5$  - напруга джерела живлення;

$U_{пр} = 2,5$  – падіння напруги на відкритому р-п переході світлодіода індикатора;

$I_{пр} = 20$  мА - потрібний струм через світлодіод індикатора при силі світла 0,15 мкд.

ДДК значення  $Y(t)$  надходить від МК 8051НА через лінії P2.0-P2.3. Так як здатність навантаження порту P2 забезпечує тільки один ТТЛ-вхід, то для збільшення потужності сигналів з ліній P2.0-P2.3 необхідно використовувати буферні елементи - інвертори DD1 KP1533ЛН1. Виходи DD1 підключені до



інформаційних входів D0-D3 регістрів DD2-DD5. На входи завантаження L регістрів-клапан DD2-DD5 подається сигнали з ліній P2.4-P2.7 МК 8051НА. Оскільки режим бланкування незначних розрядів індикатора не використовується, то входи ВІ регістрів К514ПР1 подається постійна логічна одиниця. Виходи регістрів DD2-DD5 безпосередньо працюють на відповідні входи індикаторів HL1-HL4 АЛС24Б.

У зв'язку з використанням інверторів DD1 на виході ліній МК P2.0-P2.3 перед виведенням БОД двійково-десяткових кодів значення  $Y(t)$  необхідно кодові комбінації цифр попередньо проінвертувати.

## 5 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРНОГО ПРИСТРОЮ ЗБОРУ ДАНИХ

Система команд МК складається із 111 базових команд [1, 5]. Їхні машинні коди можуть бути записані за допомогою одного, двох або трьох байтів. Усі команди поділяються на чотири групи: команди передачі, команди обробки даних, команди управління, команди до виконання операцій із окремими бітами.

Особливості розробки програмного забезпечення (ПЗ) для МК 8051НА такі [5].

Починаючи з нульової адреси, 32 осередки пам'яті даних функціонально можуть бути використані як регістри загального призначення, які розбиваються на чотири групи (банки) по 8 регістрів. Тому необхідно заздалегідь встановити номер банку регістрів загального призначення, що беруть участь у операціях поточної програми. Вказівка номера банку проводиться програмно шляхом встановлення або скидання розрядів D4 та D3 регістру ознак PSW.

При виконанні операцій множення та поділу в МК у поєднанні з акумулятором А використовується спеціальний 8-розрядний регістр В. У ньому після множення міститься молодший байт результату, а після виконання поділу – приватний. У всіх інших операціях регістр може бути використаний як звичайна осередок пам'яті даних.

МК має 20 регістрів спеціального призначення з фіксованими адресами, що забезпечує звернення до них як осередків пам'яті даних. Для регістрів спеціального призначення, адреси яких кратні восьми, забезпечується пряма адресація кожного біту даного регістру.

Деякі осередки пам'яті даних також допускають адресацію кожного біту.

Програми користувача записуються в пам'ять, зазвичай, починаючи з адреси 002Bh, оскільки початкові адреси резервуються для обробки сигналу скидання (RST) та обслуговування запитів на переривання.

Для контролю стану ознак переривань служать два регістри TCON (адреса 88h) і SCON (адреса 98h). Управління системою переривання забезпечується за допомогою регістрів IE (адреса A8h) та IP (адреса B8h). Вміст усіх регістрів можна опитувати програмно.

ПО контролера доцільно у вигляді трьох модулів: модуль завдання режимів роботи, модуль обчислення заданої функції  $Y(t)$  і модуль обслуговування запиту переривання. Модуль завдання режимів роботи повинен визначити режим функціонування системи переривання, номер банку регістрів, системні адреси осередків пам'яті для зберігання кодів датчиків, номери датчика, що опитується, і т.д. Модуль обчислення заданої функції  $Y(t)$  повинен забезпечити знаходження значення  $Y(t)$  з необхідними для цього пересилання даних. Модуль обслуговування запиту на переривання повинен зі збереженням поточного стану програми повинен отримати цифровий код з порту P1, підключеного до датчика, переслати код в один регістрів загального призначення поточного банку, сформувавши нову адресу датчика і передати через порт P2, сформувавши сигнал "Start"

Програма (її частина), що задає режим роботи блоку процесора, номер банку регістрів загального призначення, а також готує МК до обчислень, виглядає наступним чином (@ позначає непряму адресацію, ad - пряму адресацію):

Адреса	Мнемокод	Машинний код	Коментар
002B	MOV A8, 81	75 A8 81	Встановлення ознак дозволу переривання INT0 у регістрі IE (адреса A8)
002E	MOV 88, 01	75 88 01	Установка ознаки фіксації переривання INT0 зі спаду сигналу в регістрі TCON (адреса 88)
0031	MOV B8, 01	75 B8 01	Встановлення ознаки вищого пріоритету переривання INT0 у регістрі IP (адреса B8h)
0034	CLR adD3	C2 D3	Встановлення нульового банку регістрів
0036	CLR adD4	C2 D4	загального призначення

0038	MOV R0, #20	78 20	Завантаження покажчика списку даних до регістру R0 банку 0
003A	MOV ad2F, 00	75 2F 00	Обнуління лічильника датчиків у осередку пам'яті 2Fh
003D	MOV A, R1	E9	Завантаження регістру A кодом датчика 1
003E	MOV @R0, A	F6	Завантаження осередку з адресою 20h доданком Y(t), що відповідає датчику 1
003F	INC R0	08	Збільшення на 1 адресу осередку пам'яті даних
0040	MOV A, R2	EA	Завантаження регістру A кодом датчика 2
0041	INC ad2F	05	Збільшення на 1 лічильник датчиків в осередку пам'яті 2Fh
0042	MOV adF0, ad2F	85	Пересилання в регістр Y дільника
0043	DIV AB	84	Визначення доданку функції Y(t)
0044	MOV @R0, adF0	A6 F0	Завантаження комірки з адресою 21h доданком Y(t), що відповідає датчику 2
0045	INC R0	08	Збільшення на 1 адресу осередку пам'яті даних
0046	MOV A, R3	EB	Завантаження регістру A кодом датчика 3
0047	INC ad2F	05	Збільшення на 1 лічильник датчиків в осередку пам'яті 2Fh
0048	MOV adF0, ad2F	85	Пересилання в регістр Y дільника
0049	DIV AB	84	Визначення доданку функції Y(t)



004A	MOV @R0, adF0	A6 F0	Завантаження осередку з адресою 22h доданком Y(t), що відповідає датчику 3
004C	INC R0	08	Збільшення на 1 адресу осередку пам'яті даних
004D	MOV A, R4	EC	Завантаження регістру A кодом датчика 4
004E	INC ad2F	05	Збільшення на 1 лічильник датчиків в осередку пам'яті 2Fh
004F	MOV adF0, ad2F	85	Пересилання в регістр Y дільника
0050	DIV AB	84	Визначення доданку функції Y(t)
0051	MOV @R0, adF0	A6 F0	Завантаження комірки з адресою 23h доданком Y(t), що відповідає датчику 4
0053	INC R0	08	Збільшення на 1 адресу осередку пам'яті даних
0054	MOV A, R5	ED	Завантаження регістру A кодом датчика 5
0055	INC ad2F	05	Збільшення на 1 лічильник датчиків в осередку пам'яті 2Fh
0056	MOV adF0, ad2F	85	Пересилання в регістр Y дільника
0057	DIV AB	84	Визначення доданку функції Y(t)
0058	MOV @R0, adF0	A6 F0	Завантаження осередку з адресою 24h доданком Y(t), що відповідає датчику 5
005A	INC R0	08	Збільшення на 1 адресу осередку пам'яті даних
005B	MOV A, R6	EE	Завантаження регістру A кодом датчика 6

005C	INC ad2F	05	Збільшення на 1 лічильник датчиків в осередку пам'яті 2Fh
005D	MOV adF0, ad2F	85	Пересилання в регістр У дільника
005E	DIV AB	84	Визначення доданку функції Y(t)
005F	MOV @R0, adF0	A6 F0	Завантаження осередку з адресою 25h доданком Y(t), що відповідає датчику 6
0060	INC R0	08	Збільшення на 1 адресу осередку пам'яті даних
0061	MOV A, R7	EF	Завантаження регістру А кодом датчика 7
0062	INC ad2F	05	Збільшення на 1 лічильник датчиків в осередку пам'яті 2Fh
0063	MOV adF0, ad2F	85	Пересилання в регістр У дільника
0064	DIV AB	84	Визначення доданку функції Y(t)
0065	MOV @R0, adF0	A6 F0	Завантаження комірки з адресою 26h доданим Y(t), що відповідає датчику 7
0067	INC R0	08	Збільшення на 1 адресу осередку пам'яті даних
0068	SETB adD3	D2 D3	Установка першого банку регістрів
006A	MOV A, R0	E8	Завантаження регістру А кодом датчика 8
006B	INC ad2F	05	Збільшення на 1 лічильник датчиків в осередку пам'яті 2Fh
006C	MOV adF0, ad2F	85	Пересилання в регістр У дільника

006D	DIV AB	84	Визначення доданку функції Y(t)
006E	CLR adD3	C2 D3	Перемикання на нульовий банк регістрів
0070	MOV @R0, adF0	A6 F0	Завантаження осередку з адресою 27h доданком Y(t), що відповідає датчику 8
0071	INC R0	08	Збільшення на 1 адресу осередку пам'яті даних
0072	SETB adD3	D2 D3	Переключення на перший банк регістрів

## ВИСНОВОК

В результаті виконання кваліфікаційної роботи бакалавра було отримано мікроконтролерний універсальний пристрій збору даних, призначенням якого є забезпечення вимірювання параметрів виробничого процесу, збереження значень параметрів у пам'яті, обчислення та відображення вимірюваних параметрів заданої функції, що характеризує виробничий процес.

Області застосування даного мікроконтролерного пристрою можуть бути різні автоматизовані системи управління виробничим процесом, одним із завдань яких є постійний і, можливо, віддалений контроль параметрів виробничого процесу.

У своєму складі пристрій збору даних містить промисловий мікроконтролер фірми Intel, архітектурні особливості якого спрямовані на реалізацію різноманітних виробничих програм.

Спроектований мікроконтролерний пристрій збору даних має такі технічні характеристики:

- перетворення значень сигналів аналогових датчиків в діапазоні 0-3 В;
- аналого-цифрове перетворення сигналів з точністю  $\delta = 0,05$ ;
- прийом сигналів із 15 датчиків
- періодом комутації датчиків  $T = 220$  мкс;
- обчислення у реальному масштабі часу значення функції

$$Y(t) = \frac{U_2}{1} + \frac{U_3}{2} + \dots + \frac{U_i}{i-1} + \dots + U_1,$$

де  $U_i$  - значення  $i$ -го датчика;

- зберігання цифрових кодів значень 15 датчиків оперативної пам'яті;
- відображає значення функції  $Y(t)$  на чотирирозрядному дискретному напівпровідниковому семисегментному індикаторі.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Юрій Ревіч. Програмування мікроконтролерів AVR: від Arduino до асемблера. 2020р.
2. Бартош А.І., Гаврилов С.А. Схемотехніка. Від азів до створення практичних пристроїв. 2020р.
3. Белов А.В. Мікроконтролери AVR: від азів програмування до створення практичних пристроїв. 2017р.
4. Майкл Предко. PIC-мікроконтролери. Архітектура та програмування. 2017р.
5. <https://chipenable.ru/>. Оновлено в 2017р.
6. Юрій Магда. Мікроконтролери серії 8051: практичний підхід. 2022р.
7. Лебедєв М.Б. CodeVisionAVR. Посібник для початківців. 2017р.