

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК ТА ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра Комп'ютерних систем та мереж

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач випускової кафедри

\_\_\_\_\_ Ігор ЖУКОВ

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ  
«МАГІСТР»  
ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 123 «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ»

Тема: Автоматична система збору та обробки метеорологічної інформації

Виконавець: \_\_\_\_\_ Валерій КОСЕНКО

Керівник: \_\_\_\_\_ Олександр АНДРЕЄВ

Нормоконтролер: \_\_\_\_\_ Василь МАЛЯРЧУК

Засвідчую, що у кваліфікаційній роботі немає  
запозичень із праць інших авторів без  
відповідних посилань

Студент \_\_\_\_\_ Валерій КОСЕНКО

# НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет комп'ютерних наук та технологій

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

Спеціальність 123 "Комп'ютерна інженерія"

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри комп'ютерних систем та мереж

\_\_\_\_\_ Ігор ЖУКОВ

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 р.

## ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної роботи студента

\_\_\_\_\_ Косенко Валерій Юрійович

(студент, прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Автоматична система збору та обробки метеорологічної інформації

\_\_\_\_\_ затверджена наказом ректора від "08" серпня 2023р. № 1521/ст

2. Термін виконання роботи: з "02" жовтня 2023 р. по 31 грудня 2023 р.

3. Вихідні данні до роботи: Вимоги до змісту системи збору та обробки метеорологічної інформації; дослідження методів бездротової передачі інформації

4. Зміст пояснювальної записки: Розробка структурної схеми системи збору та цифрової обробки метеорологічної інформації , розробка принципової схеми та програмної частини системи збору та цифрової обробки метеорологічної інформації , технології бездротової передачі інформації, аналіз технології *Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee.*

5. Перелік обов'язкового графічного матеріалу: презентація *PowerPoint.*

### 6. Календарний план-графік

№ п/п	Етапи виконання кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів	Примітка
1.	Оглянути літературу	02.10.23 - 06.10.23	
2.	Розглянути вимоги до системи збору та цифрової обробки метеорологічної інформації	06.10.23 - 10.10.23	
3.	Побудувати алгоритм роботи системи	11.10.23 - 17.10.23	
4.	Розробити структурну схему системи	18.10.23 - 26.10.23	
5.	Сформувати загальні вимоги до системи	26.10.23 - 05.11.23	
6.	Розробити принципову схему системи	06.11.23 - 14.11.23	
7.	Розробити програмну частину системи	14.11.23 - 20.11.23	
8.	Проаналізувати бездротові технології передачі інформації	23.11.23 - 27.11.23	
9.	Оформити пояснювальну записку	28.11.23 – 20.12.23	
10.	Підготувати графічний демонстраційний матеріал	21.12.23-31.12.23	

7. Дата видачі завдання “02” жовтня 2023 р.

Керівник кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_ Олександр АНДРЕЄВ  
(підпис)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ Валерій КОСЕНКО  
(підпис студента)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи «Автоматична система збору та обробки метеорологічної інформації»: 94 с., 28 рисунки, 10 табл., 37 використаних джерел, 1 додаток.

МЕТЕОРОЛОГІЧНА СТАНЦІЯ, МІКРОКОНТРОЛЕРИ, ДАТЧИКИ, БЕЗДРОТОВА ПЕРЕДАЧА ДАНИХ.

Об'єкт дослідження: автоматична система збору, передачі, обробки та зберігання метеорологічної інформації.

Предмет дослідження: розробка метеорологічної станції на основі мікроконтролера *ATMEL Atmega8*, що дозволяє збирати метеорологічні данні в реальному масштабі часу та передавати їх ЦЕОМ для подальшої обробки та зберігання.

Мета дипломної роботи: розробка автоматичної системи збору, передачі реальному масштабі часу, обробки та зберігання метеорологічної інформації.

Метод дослідження: структурна, принципова та програмна реалізація системи і проведення порівняння технологій бездротової передачі даних.

Результати: в даній кваліфікаційній роботі розроблено автоматичну систему збору та цифрової обробки метеорологічної інформації, розроблено програмне забезпечення блоку її керування та проведено дослідження бездротових мереж передачі даних, що можуть застосовуватися для передачі даних з цієї системи до ЦЕОМ.

Наукова новизна одержаних результатів: запропоновано використання бездротових мереж передачі даних для побудови мережі з розгалужених метеорологічних станцій.

Автоматична система збору та обробки метеорологічної інформації, що була розроблена у магістерській роботі, дозволить відстежувати зміну атмосферних подій у реальному часі. Це дозволить складати короткострокові прогнози погоди та попереджати про несприятливі погодні явища.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ ЗБОРУ ТА ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ МЕТЕОРОЛОГІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ .....	13
1.1. Огляд існуючих технічних аналогів.....	13
1.2. Пристрій керування системою збору метеорологічної інформації .....	14
1.3. Основні характеристики мікроконтролерів, архітектури <i>PIC</i> та <i>AVR</i> .....	16
1.3.1. Класифікація і загальні архітектурні риси МК.....	17
1.3.2. Типова структура модульного МК.....	20
1.3.3. <i>PIC</i> -контролери та їх характеристики.....	24
1.3.4. Архітектура <i>PIC</i> -контролерів .....	26
1.3.5. Характеристика <i>AVR</i> -мікроконтролерів .....	27
1.3.6. Архітектура <i>AVR</i> -мікроконтролерів.....	28
1.4. Огляд та порівняння основних видів датчиків для метеостанцій .....	29
1.4.1. Основні типи датчиків температури .....	30
1.4.2. Основні типи датчиків вологості.....	33
1.4.3. Основні типи датчиків тиску .....	35
1.5. Розробка структурної схеми пристрою вимірювання та цифрової обробки метеорологічної інформації .....	36
1.5.1. Обґрунтування та склад структурної схеми пристрою.....	36
1.5.2. Опис роботи пристрою .....	37
1.5.3. Загальні вимоги до системи збору та цифрової обробки метеорологічної інформації .....	37
Висновки за розділом.....	38
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ ЗБОРУ ТА ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ МЕТЕОРОЛОГІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ .....	39
2.1. Вибір елементної бази системи .....	39
2.1.1. Мікроконтроллер .....	39
2.1.2. ЖК-індикатор .....	43
2.1.3. Пристрій узгодження рівнів сигналу МК та ЦЕОМ .....	43
2.1.4. Цифровий датчик температури .....	45
2.1.5. Датчик відносної вологості.....	48
2.1.6. Датчик атмосферного тиску.....	49

2.2. Основні технічні характеристики вузлів системи .....	50
2.2.1. Внутрішня структура МК.....	50
2.2.2. Підсистема вводу-виводу МК.....	53
2.2.3. Вузол АЦП МК .....	54
2.2.4. Схема скидання МК.....	57
2.3. Розробка електричної принципової схеми для мікропроцесорної метеостанції .....	58
2.3.1. Електричні розрахунки вузлів електричної принципової схеми	61
2.4. Розробка програмної частини системи .....	62
2.4.1. Вибір програмних засобів для реалізації задачі .....	62
2.4.2. Опис алгоритму роботи програми МК .....	62
Висновки за розділом.....	64
<b>РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ БЕЗДРОТОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ, ЯК ЗАСОБУ ПЕРЕДАЧІ МЕТЕОРОЛОГІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ.....</b>	<b>65</b>
3.1. Технології бездротової передачі інформації .....	65
3.1.1. Загальний огляд.....	65
3.1.2. Стандарти і специфікації.....	67
3.2. Технологія <i>Wi-Fi</i> .....	72
3.2.1. Загальний огляд технології <i>Wi-Fi</i> .....	72
3.2.3. Бездротові мережі на основі <i>Mesh</i> -технології.....	77
3.3. Технологія радіозв'язку <i>Bluetooth</i> .....	78
3.3.1. Загальний огляд <i>Bluetooth</i> -технології .....	78
3.4. Бездротові мережі <i>ZigBee</i> .....	82
3.4.1. Загальний огляд технології <i>ZigBee</i> .....	82
Висновки за розділом.....	87
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>88</b>
<b>СПИСОК БІБЛЮГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>92</b>
<b>ДОДАТОК А.....</b>	<b>95</b>

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

<i>CISC</i>	—	<i>Complicated Instruction Set Computer</i>
<i>LAN</i>	—	<i>Local Area Network</i>
<i>MAC</i>	—	<i>Media Access Control</i>
<i>OSI</i>	—	<i>Open System Interconnect</i>
<i>RISC</i>	—	<i>Reduced Instruction Set Computer</i>
<i>UART</i>	—	<i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i>
<i>WAN</i>	—	<i>Wide-Area Network</i>
<i>WLAN</i>	—	<i>Wireless Local Network</i>
АЛП	—	арифметичний логічний пристрій
АЦП	—	аналогово-цифровий перетворювач
БЖ	—	блок живлення
ВІС	—	велика інтегральна схема
ВКМ	—	внутрішня контролерна магістраль
ЦЕОМ	—	цифрова електронно-обчислювальна машина
ЕОМ	—	електронно-обчислювальна машина
МК	—	мікроконтролер
ОМК	—	однокристальний мікроконтролер
ЗП	—	запам'ятовуючий пристрій
МП	—	мікропроцесор
МПС	—	мікропроцесорна система
ОЗП	—	оперативний запам'ятовуючий пристрій
ПЗП	—	постійний запам'ятовуючий пристрій
ЦАП	—	цифрово-аналоговий перетворювач
ШІМ	—	широтно- імпульсна модуляція
ШЖ	—	шина живлення

## ВСТУП

Атмосферні явища являють собою важливий елемент погоди: від того, іде сильний дощ або сніг, починається хуртовина або гроза, туман або пилова буря, починається обледеніння або сідає іній, в значній мірі впливає як технічні об'єкти що перебувають під відкритим небом: машини і механізми, будівлі, дороги, так і на живі істоти – людей, тварин, рослин. Особливо чутливою до екстремальних погодних явищ є авіація. Тому спостереження за атмосферними явищами, та їх правильне визначення, фіксація часу початку та припинення, коливань інтенсивності мають велике значення. Особливо гостра потреба у відстеженні та передбаченні погодних явищ існує під час війни. Для цього існують метеорологічні станції.

Відомо, що такі атмосферні явища як урагани, зливи, сніг, град або спека не починаються раптово. Цим явищам передують певна послідовність атмосферних подій, спостерігаючи, вимірюючи і аналізуючи які можливо передбачати погоду. Довгостроковий прогноз погоди складається метеорологами на підставі даних, отриманих з космосу, але його точність є досить умовною. Передбачати погоду на короткий термін можливо зі значно більшою точністю за допомогою портативних метеорологічних станцій, в тому числі і автоматичних. Метеостанції дозволяють отримувати точні значення температури, вологості та атмосферного тиску. Потім можливо аналізувати динаміку змін атмосферного тиску, на підставі цього аналізу самостійно робити з певною вірогідністю прогноз погоди на 6-36 годин.

Дані спостережень метеорологічних станцій використовуються у різноманітних галузях народного господарства, передусім в авіації, де досить часто виникає необхідність мати певне уявлення про характеристику погодних умов на деякій, зазвичай досить невеликій ділянці місцевості.

При цьому головними вимогами, що висувуються до інформації про погодні умови є наступні:

- оперативність збору інформації, а отже її доцільність;
- мінімізація технічних засобів для її отримання;
- зручність у використанні та мобільність технічних засобів збору інформації;



– точність інформації, що надходить, тощо.

Дані, що надходять зі звичайних метеорологічних станцій далеко не у всіх випадках можуть бути використані: по-перше, збирання метеорологічних даних є узагальнюючим; по-друге, ці метеостанції є зазвичай стаціонарними, тобто розташовані на певних ділянках місцевості; по-третє, не всі ділянки земної поверхні знаходяться в зонах дії метеорологічних станцій.

Тому для реалізації всіх цих вимог потрібна компактна автоматична система збору метеорологічної інформації, яка може бути включен в мережу. Серед галузей, де може використовуватись такі системи, можна насамперед виділити наступні:

1. Авіація – необхідне спостереження за метеорологічними умовами на аеродромі, на маршрутах та районах польотів. Інформація щодо стану, зміни стану та швидкості цих змін різних параметрів атмосфери може бути край важливою.

2. Сільське господарство – потрібна швидка та точна інформація щодо температури, вологості повітря для термінового проведення або відкладення сільськогосподарських робіт, таких як пахота, засівання, збір врожаю, тощо.

3. Проведення розважальних та тренувальних заходів, таких як авіашоу, стрибки з парашутами, великі фестивалі та концерти на відкритому повітрі – інформація щодо стану та зміну стану нижніх шарів атмосфери може слугувати підставою для перенесення або скасування цих заходів.

4. Санаторно-курортні заклади та пляжі.

5. Дослідження стану нижніх шарів атмосфери на певній ділянці місцевості, яка є віддаленою від зони дії метеостанцій.

Атмосферні явища відіграють ключову роль у формуванні погоди, маючи значний вплив на технічні об'єкти та живі істоти. Особливо вразливою до екстремальних погодних умов є авіація, що підкреслює важливість спостережень за атмосферними явищами та їх правильного визначення. Метеорологічні станції виконують важливу роль у зборі інформації про погодні умови, проте існують вимоги до їхньої ефективності, такі як оперативність, мінімізація технічних засобів, зручність та точність. Традиційні стаціонарні метеостанції мають обмеження в покритті та оперативності.

Компактні автоматичні системи збору метеорологічної інформації, які можуть бути включені в мережу, відповідають цим вимогам. Застосування таких систем розповсюджується на різні галузі, включаючи авіацію, сільське господарство, розважальні заходи, курорти та дослідження атмосфери. Ці системи надають оперативні та точні дані, необхідні для прийняття виважених рішень та попередження негативних наслідків внаслідок змін погодних умов.

У контексті магістерської роботи висунуто концепцію використання передових технологій бездротових мереж передачі даних з метою створення ефективної та розгалуженої інфраструктури автоматичних метеорологічних станцій. Запропонована система передбачає використання сучасних технічних засобів для забезпечення безперервного та надійного обміну інформацією між станціями в режимі реального часу.

Особливий підхід передбачає не лише використання бездротових технологій, але і їх оптимальне впровадження з метою оптимізації обсягу передаваної інформації та забезпечення високої швидкості передачі даних. Такий підхід робить можливим широкомасштабне покриття території та максимальну точність збору метеорологічних даних.

Застосування бездротових мереж у цьому контексті сприяє підвищенню масштабованості системи, забезпечуючи гнучкість в її розширенні та адаптації до різних умов довкілля. Це також сприяє підвищенню надійності та ефективності збору та обробки метеорологічних даних, що є ключовими елементами для забезпечення точних та актуальних прогнозів погоди.

Мета роботи полягає у створенні комплексної системи, яка забезпечить надійний збір, передачу в реальному часі, обробку та зберігання метеорологічної інформації.

Об'єктом нашого наукового дослідження є автоматична система, що включає в себе етапи збору, передачі, обробки та зберігання важливих метеорологічних даних.

Предметом дослідження є розробка автоматичної метеорологічної станції, спорудженої на базі мікроконтролера *ATMEL Atmega8*. База *ATMEL Atmega8* призначена для ефективного збору актуальних метеорологічних даних та їх передачі

до електронно-обчислювальної машини (ЕОМ) для подальшої обробки та зберігання. Використання передового мікроконтролера сприяє оптимізації процесів та забезпечує високу точність отриманих даних.

Методологія дослідження включає в себе структурний, принципний та програмний аспекти реалізації автоматичної системи. Приводиться аналіз та порівняння різних технологій бездротової передачі даних, щоб визначити оптимальний підхід для ефективного функціонування нашої метеорологічної системи. Це дозволяє вдосконалювати та оптимізувати процеси збору та обробки метеорологічних даних для досягнення найвищої якості результатів

Робота вказує на важливість впровадження передових технологій у метеорологічних дослідженнях для досягнення найвищої якості результатів. Такий підхід дозволяє постійно вдосконалювати та оптимізувати процеси збору та обробки метеорологічних даних, що впливає на ефективність функціонування системи та якість отриманих результатів..

У результаті реалізації магістерського дослідження вдалося розробити високоефективну автоматичну систему, яка не лише забезпечує ефективний збір та обробку метеорологічної інформації, але й відкриває нові перспективи для вдосконалення аналізу змін в атмосферних явищах в режимі реального часу. Розроблена система зосереджена на забезпеченні точних та дієвих короткострокових прогнозів погоди, а також своєчасного попередження про будь-які потенційно негативні погодні умови.

Функціональність автоматичної системи орієнтована на важливі аспекти, такі як оперативне відстеження змін в атмосферних умовах та забезпечення швидкого реагування на зміни погоди. Це є ключовим для створення надійних та актуальних прогнозів, які допомагають підвищити безпеку та готовність до реагування на небезпеку, пов'язану з несприятливими погодними умовами.

Розроблена система відіграє ключову роль у забезпеченні безпеки та ефективності функціонування різних сегментів суспільства. Незалежно від галузі - чи це авіація, сільське господарство чи розважальні заходи - можливість отримання

оперативної та достовірної інформації грає визначальну роль у прийнятті обґрунтованих рішень.

Однією з ключових переваг цієї системи є її здатність до підвищення рівня безпеки та підготовленості до реагування на погодні події. Використання передових технологій та високої ефективності розробленої платформи дозволяє не лише вчасно виявляти погодні аномалії, а й швидко реагувати на них. Це важливо, особливо у галузях, де безпека має вирішальне значення, таких як авіація, де точність та швидкість реагування можуть врятувати життя та майно.

Такий інтегрований підхід також сприяє зменшенню ризиків, пов'язаних з несприятливими погодними умовами. Забезпечуючи суспільство актуальною та достовірною інформацією, система створює можливість для передбачення та управління ризиками, що дозволяє галузям ефективно планувати та адаптуватися до змін у погодних умовах.

Розроблена система надає суспільству не лише інструменти для прийняття обґрунтованих рішень, але й стає важливим засобом забезпечення безпеки та підвищення ступеня захищеності від негоди. Це робить її ключовим фактором для сталого розвитку та ефективного функціонування сучасного суспільства.

## РОЗДІЛ 1

# РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ ЗБОРУ ТА ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ МЕТЕОРОЛОГІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

### 1.1. Огляд існуючих технічних аналогів

Розглянемо декілька технічних розробок, що несуть собою мету збору та збереження певних метеопказників.

1. Система збору метеорологічних даних «ІОН», українського виробника «ООО Прома Україна», м. Харків виробляється з 2001 року, постійно вдосконалюючись. Метеорологічний комплекс являє собою прилад, призначений для збору метеорологічних показників, який містить певний набір датчиків та мікроконтролер з достатньо великим об'ємом внутрішньої пам'яті для збереження результатів вимірювань.

Структурна схема цього пристрою (рис. 1.1):



Рис. 1.1. Система збору метеорологічних даних «ІОН»

Алгоритм роботи пристрою «ІОН» можна представити наступним чином:

- спочатку задається план вимірів за допомогою текстового файлу, та при підключенні пристрою до ПК заноситься план здійснення вимірів;
- людина оператор пересувається з пристроєм до точки, де здійснюється замір, та натискаючи кнопку запуску на пристрої, робить запит до датчиків на здійснення вимірювання відповідних показників;

- дані, що були щойно виміряні, зберігаються у внутрішній пам'яті мікроконтролера цього пристрою;
- здійснюється замір у наступній контрольній точці, і так далі, до тих пір, доки не буде виконано план вимірювань, що був внесений на початку маршруту;
- після завершення маршруту, дані, що були збережені під час серії вимірів, переносяться до ПК для їх подальшої обробки.

Недоліки такої системи очевидні: це неможливість працювати у реальному часі, необхідність пересування з приладом по контрольним точкам здійснення вимірів, жорстка прив'язка до здійснення плану вимірів, незручність користування приладом та ін.

2. Стандартна система моніторингу погоди. У стандартної метеорологічної станції є також ряд недоліків у роботі: збирання метеорологічних даних є узагальнюючим; ці системи є стаціонарними, тобто вони розташовані на певних ділянках місцевості; далеко не всі ділянки земної поверхні знаходяться у зонах дії метеорологічних станцій, витрата значних коштів при їх експлуатації та залучення великої кількості працівників.

До того ж, такі системи не можуть бути застосованими у тих випадках, коли необхідна можливість збору інформації у реальному масштабі часу; для збору серії метеорологічних показників може залучатися лише одна особа; є необхідність збору метеорологічної інформації в місцях, що не входять до зони дії стаціонарних метеостанцій.

Для вирішення всіх цих проблем необхідна розробка метеостанції нового типу.

## **1.2. Пристрій керування системою збору метеорологічної інформації**

На сучасному етапі розвитку техніки характерне все більш інтенсивне та глибоке проникнення мікропроцесорів в різні галузі, які радикально перетворюють властивості багатьох пристроїв, тим самим виводячи їх на якісно новий рівень та відкривають нові можливості їх використання. Інформаційно-вимірювальна техніка посідає одне з перших місць за широтою та ефективністю використання мікропроцесорів.

Мікропроцесор (МП) – це напівпровідниковий прилад, який складається з однієї або декількох програмно-керуючих великих інтегральних схем і виконує функції пристрою автоматичної обробки інформації. Сучасні вимірювальні прилади, що містять мікропроцесори, можуть бути подані як вимірюючі засоби, що здійснюють як двосторонню взаємодію з оператором і системою збирання інформації, так і односторонньою – з об'єктом вимірювання та навколишнім середовищем. Застосування у вимірювальних приладах мікропроцесорів, що мають можливість програмної обробки інформації, наділяє прилад, можна сказати, деяким інтелектом та дозволяє не тільки поліпшити властивості приладу, а надати йому абсолютно нових якостей.

Мікропроцесорне управління в вимірювальних приладах дозволяє здійснювати наступне:

1. Розширення вимірювальних можливостей пристрою. Застосування мікропроцесорів дозволяє істотно розширити можливості переліку параметрів сигналів і характеристик пристроїв. Це пов'язано з використанням, на перший погляд, застарілих видів вимірювань – непрямих та сукупних. Через необхідність застосування декількох приладів, зняття низки відліків і наступних обчислень, непрямі вимірювання сприймаються багатьма експериментаторами як примітивні. Але ситуація в корні змінюється при включенні до складу вимірювального приладу мікропроцесорів. За командою, одержаною з клавіатури, автоматично відповідно до заданої програми визначаються режими вимірювань, запам'ятовуються результати прямих вимірювань, виконуються необхідні обчислення і видаються значення вимірюваної фізичної величини на дисплей.

2. Поліпшення вимірюваних характеристик приладу. Наявність у приладі мікропроцесора дозволяє скоригувати, або навіть виключити систематичні похибки і зменшити вплив випадкової складової похибки. Інваріантність, реалізована за допомогою мікропроцесорів, дозволяє додатковими вимірюваннями і операціями над ними зробити таку корекцію результатів вимірювання, яка дозволить у певних межах зробити результат вимірювання нечутливим до зовнішніх умов та змін внутрішніх параметрів приладу і інформативних параметрів вимірюваного сигналу.

3. Сервіс. В процесі взаємодії оператора з приладом, оператору надається розвинутий сервіс у тому розумінні, що результати вимірювань надаються у зручній формі. До того ж це значно спрощує керування приладом. Також досить легко реалізується нормалізація результату спостережень, збільшується інформативність зображення результатів вимірювання шляхом зміни кольору, мигтіння, тощо.

4. Організація вимірювальних систем. Прилад, що містить МП, зазвичай, оснащений різними інтерфейсами, що дозволяють вмикати його до обробки результатів ЕОМ. Це надає можливість об'єднувати певну сукупність приладів в єдину вимірювальну систему [3].

Для побудови системи, призначеної для збору та цифрової обробки метеорологічної інформації, найбільш логічним та зручним є використання мікроконтролера, як пристроя управління та обробки даних. Далі розглянемо основні типи сучасних мікроконтролерів, їх архітектури, а також їх характеристики та особливості застосування.

### **1.3. Основні характеристики мікроконтролерів, архітектури *PIC* та *AVR***

Мікроконтролер (МК) – це мікросхема, що призначена для керування електронними пристроями. Типовий мікроконтролер поєднує в собі функції процесора та периферійних пристроїв, може містити ОЗП і ПЗП. По суті, це однокристальний комп'ютер, який здатний виконувати прості завдання. Використання однієї мікросхеми замість цілого набору мікросхем, як у випадку звичайних процесорів в персональних комп'ютерах, значно меншує розміри, енергоспоживання та вартість пристроїв, побудованих на базі мікроконтролерів.

Мікроконтролери є основою для побудови так званих вбудованих систем. Вбудовані системи використовуються в багатьох сучасних приладах, таких як телефони, побутова техніка і т.п.

На відміну від мікросхем так званої «жорсткої логіки», мікроконтролер являється мікросхемою, у якої залежність вихідних сигналів від вхідних визначається виключно правилами, що визначені розробником заздалегідь: це називається програмуванням, а самі правила – програмою. Крім того, немає чіткого поділу



выводів на входи і виходи: зазвичай майже всі виводи мікроконтролера, в залежності від бажання і намірів розробника, можуть бути як входами, так і виходами, та, зп потребою, навіть міняти своє призначення в процесі роботи.

Мікроконтролери мають наступні особливості:

- система команд МК орієнтована на виконання задач управління та регулювання;
- алгоритми, з якими оперують МК, в залежності від зовнішніх сигналів, можуть мати багато розгалужень;
- дані, з якими оперують МК, не повинні мати велику розрядність;
- схемна реалізація систем управління на базі МК є досить простою і має невелику вартість;
- універсальність та можливість розширення функцій управління МК значно нижча, в порівнянні з системми з однокришталевими МП.

Мікроконтролери – це зручний інструмент для створення сучасних пристроїв управління різноманітним обладнанням, наприклад, автомобільною електронікою, побутовою технікою і т.п. [3]

### **1.3.1. Класифікація і загальні архітектурні риси МК**

Основні вимоги, що пред'являються до мікроконтролерів:

- висока надійність;
- низька собівартість;
- високий ступінь мініатюризації;
- невелике енергоспоживання;
- працездатність в складних умовах експлуатації;
- достатня продуктивність для виконання всіх необхідних функцій.

Виконання цього комплексу суперечливих умов одночасно важко, тому розвиток і удосконалення мікроконтролерів пішли шляхом їх спеціалізації, тому на сьогоднішній день кількість моделей МК надзвичайно велика.

Але все ж таки можна виділити деякі загальні архітектурні риси, які характерні практично для всіх сучасних МК:

- система команд, що зорієнтована на виконання задач керування та регулювання;
- алгоритми, що реалізуються на МК, мають багато розгалужень в залежності від зовнішніх сигналів;
- дані, з якими оперують МК, мають невелику розрядність;
- універсальність і можливість розширення функцій керування значно нижчі, в порівнянні з системами з МП;
- інтеграція в одному корпусі мікросхеми практично всіх блоків МПС – ПЗП, ОЗП, контролера переривань, пристроїв вводу-виводу інформації, тактового генератора, і т.д. Тому іноді МК називають однокристальними ЕОМ.
- побудова більшості МК на основі гарвардської архітектури: використання роздільних областей пам'яті та шин для збереження і передавання даних та команд.

Взагалі, сучасні МК будуються на основі однієї з двох базових архітектур: фон-нейманівської або гарвардської.

В Фон-Неймановській архітектурі використання єдиної області пам'яті дозволяє оперативно перерозподіляти її між областями програм і даних, що істотно підвищує гнучкість МК із точки зору розроблювача програмного забезпечення. Розміщення стека в загальній пам'яті полегшує доступ до його вмісту. З цих причин фон-нейманівська архітектура стала в наш час основною архітектурою універсальних комп'ютерів.

Гарвардська архітектура використовувалася дуже мало до кінця 70-х років, поки виробники МК не прийшли до висновку, що вона дає суттєві переваги розробникам систем керування.

Виявилось, що для реалізації більшості алгоритмів керування такі переваги фон-нейманівської архітектури, як універсальність і гнучкість не мають принципового значення. Аналіз реальних програм керування показав, що необхідний обсяг пам'яті даних МК, який використовується для збереження проміжних результатів, зазвичай, на порядок менше, ніж необхідний обсяг пам'яті програм. За

цих умов використання єдиного адресного простору приводить до збільшення формату команд за рахунок збільшення числа розрядів, що призначений для адресації операндів. Застосування окремої, невеликої за обсягом, пам'яті даних сприяло скороченню довжини команд та значно прискорло пошук інформації в пам'яті даних.

Гарвардська архітектура, в порівнянні з фон-нейманівською, забезпечує потенційно більш високу швидкість виконання програми за рахунок паралельної реалізації деяких операцій. Так, вибірка наступної команди може відбуватися одночасно з вибіркою операндів для виконання попередньої команди, при цьому немає необхідності зупиняти АЛП процесора на час вибірки команди – це надає можливість забезпечувати виконання різних команд за однаково число тактів.

Але в гарвардській архітектурі є і істотні недоліки. Так, вона є недостатньо гнучкою для реалізації деяких програмних процедур. Тому порівняння МК, побудованих на основі різних архітектур, слід проводити стосовно до конкретних задач.

МК звичайно класифікують за розрядністю оброблюваних чисел:

- чотирирозрядні МК – найпростіші та найдешевші;
- восьмирозрядні МК – це найбільш чисельна група, що забезпечує оптимальне співвідношення можливостей і вартості; до цієї групи відносяться МК наступних серій: *MCS-51 (Intel)* і сумісні з ними, *PIC (MicroChip)*, *HC68 (Motorola)*, *Z8 (Zilog)* та ін.;

- шістнадцятирозрядні МК – *MCS-96 (Intel)* та інші, більш високопродуктивні;

- тридцятидворозрядні МК – є модифікаціями універсальних мікропроцесорів для вирішення найбільш складних задач, наприклад, для адаптивного керування.

Найбільш розповсюдженими на сьогоднішній день є восьмирозрядні МК: вони широко використовуються в різних галузях промисловості, побутовій та комп'ютерній техніці. Причиною такої популярності 8-розрядних МК є використання їх для керування технічними об'єктами, де застосовуються алгоритми з переважно

логічними або побутовими операціями, швидкість виконання яких практично не залежить від розрядності процесора.

Сучасні 8-розрядні МК мають наступні особливості:

1. Модульна організація. При модульній організації МК на базі одного процесорного ядра проектується цілий ряд МК, що розрізняються між собою обсягом і типом пам'яті програм та обсягом пам'яті даних, набором периферійних модулів, частотою синхронізації.

2. Використання закритої архітектури МК. Мається на увазі, що МК являє собою закінчену і конструктивно незмінну систему обробки даних. Нарощування обчислювальних можливостей цієї системи з використанням паралельних магістралей адреси і даних не передбачається.

3. Використання типових функціональних периферійних модулів. Це таймери, контролери послідовних інтерфейсів, АЦП та ін., що мають незначні відмінності в алгоритмах роботи в МК різних виробників [3].

### 1.3.2. Типова структура модульного МК

Згідно з модульним принципом побудови всі МК одного сімейства містять наступні складові частини: процесорне ядро, однакове для всіх МК даного сімейства, та змінювальний функціональний блок, що відрізняє МК різних моделей. Структура модульного МК приведено на (рис. 1.2).

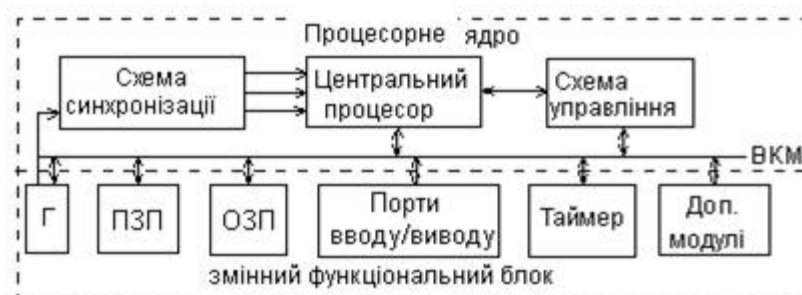


Рис. 1.2. Модульна організація МК

Процесорне ядро містить:

- центральний процесор;
- внутрішню контролерну магістраль (ВКМ) у складі шин адреси, даних і керування;
- схему синхронізації МК;
- схему керування режимами роботи МК.

Змінюваний функціональний блок містить у собі наступні складові: модулі пам'яті різного типу та обсягу, порти введення/виведення, модулі тактових генераторів (Г), таймери. У відносно простих МК модуль обробки переривань входить до складу процесорного ядра, а у більш складних МК він являється окремим модулем з розвинутими можливостями. До складу змінюваного функціонального блоку можуть входити такі додаткові модулі, як компаратори напруги, АЦП та ін. Кожен модуль проєктується для роботи в складі МК з урахуванням протоколу ВКМ: такий підхід дозволив створювати різноманітні МК у межах одного сімейства.

Процесорне ядро сучасних 8-розрядних МК може бути побудовано на основі *CISC*- та *RISC*-архітектури. *CISC* – *Complicated Instruction Set Computer*, або повна система команд, *RISC* – *Reduced Instruction Set Computer*, або скорочена система команд.

*CISC*-процесори характеризуються тим, що виконують великий набір різноманітних команд, тим самим даючи розробнику можливість вибрати найбільше підходящу команду для виконання потрібної операції. Вибірка команди на її виконання здійснюється побайтно протягом декількох циклів роботи МК. Час виконання команди може складати від 1 до 12 циклів. До МК із *CISC*-архітектурою відносяться МК фірми *Intel* з ядром *MCS-51*, що підтримується на сьогоднішній день великою кількістю виробників.

Схема синхронізації МК забезпечує формування сигналів синхронізації, які необхідні для виконання командних циклів центрального процесора та мітки часу, які потрібні для роботи таймерів МК. Вона, зазвичай, будується на базі дільників частоти опорної імпульсної послідовності. Сучасні МК містять вбудовані тактові генератори,

але практично всі сучасні МК допускають роботу від зовнішнього джерела сигналу з метою завдання довільної тактової частоти для роботи МК.

У МК використовується три основних види пам'яті:

1. Пам'ять програм. Вона являє собою ПЗП, що призначена для збереження програм і констант.

2. Пам'ять даних. Вона призначена для збереження змінних у процесі виконання програми і являє собою, зазвичай, статичне ОЗП. Термін «статичне» означає, що вміст комірок ОЗП буде зберігатись при зниженні тактової частоти МК до як завгодно малих значень.

3. Регістри МК. Це внутрішні регістри процесора: акумулятор, регістри стану, індексні регістри, а також регістри, що служать для керування периферійними пристроями. Їх ще називають регістрами спеціальних функцій.

Обсяг пам'яті даних МК, зазвичай, невеликий і складає десятки і сотні байт: це необхідно враховувати при розробці програм для МК.

Незважаючи на існуючу тенденцію переходу до закритої архітектури МК, іноді виникає необхідність підключення додаткової зовнішньої пам'яті до МК. Для цього використовуються порти введення-виведення. Такий спосіб дозволяє уникнути необхідності використання складних шинних інтерфейсів, однак це приводить до зниження швидкодії системи при звертанні до зовнішньої пам'яті.

Кожен МК має декілька паралельних портів введення-виведення, які виконують роль пристроїв часового узгодження функціонування МК і об'єкта керування, що зазвичай, працюють асинхронно. Звертання до регістра даних порту здійснюється тими ж командами, що і звертання до пам'яті даних. Крім того, у багатьох МК окремі розряди портів можуть бути опитані або встановлені бітовими командами процесора.

Більшість задач керування, що реалізуються за допомогою МК, виконуються у реальному масштабі часу. Під цим мається на увазі здатність системи одержати інформацію про стан об'єкта керування, виконати необхідні розрахункові процедури і видати керуючі сигнали на протязі інтервалу часу, що є достатнім для бажаної зміни стану об'єкта.

Покладати всі функції керування в реальному масштабі часу тільки на центральний процесор неефективно, оскільки це займає ресурси, необхідні для розрахункових процедур. Тому в сучасних МК використовується апаратна підтримка роботи в реальному часі з використанням таймерів.

Модулі таймерів служать для прийому інформації про час настання тих чи інших подій від зовнішніх датчиків подій, а також для формування керуючих впливів у часі. В якості таймера виступає 8- або 16-розрядний лічильник зі схемою керування. Схемотехнікою МК передбачається можливість використання таймера в режимі лічильника зовнішніх подій, тому його ще називають таймером/лічильником.

Обробка переривань у МК відбувається відповідно до загальних принципів обробки переривань у МПС. Модуль переривань приймає запит на переривання і організує перехід до виконання програми, що перериває. Запити переривань можуть надходити як від зовнішніх джерел, так і від джерел, розташованих у різних внутрішніх модулях МК – зовнішні та внутрішні переривання. В якості входів для прийому запитів зовнішніх переривань найчастіше використовуються виводи паралельних портів.

Адреса, що завантажується в програмний лічильник при переході до обробки переривання, має назву «вектор переривання». Питання про пріоритети виконання переривань при одночасному надходженні декількох запитів на переривання вирішується в різних МК по-різному. Так, існують МК з однорівневою системою пріоритетів, коли всі запити рівноцінні, багаторівневою системою з фіксованими пріоритетами та багаторівневою програмованою системою пріоритетів.

Сучасні МК надають користувачеві широкі можливості в плані економії енергоспоживання і мають наступні режими роботи:

- активний режим (*Run mode*) – це основний режим роботи МК. У цьому режимі МК виконує робочу програму і всі його ресурси доступні. Споживана потужність має максимальне значення  $P_{RUN}$ ;

- режим очікування (*Wait mode, Idle mode* або *Halt mode*). У цьому режимі припиняє свою роботу центральний процесор, але продовжують функціонувати периферійні модулі, що контролюють стан об'єкта керування. При необхідності, в

будь-який час сигнали від периферійних модулів переводять МК в активний режим, і робоча програма генерує необхідні керуючі впливи. В цьому режимі потужність споживання МК знижується в порівнянні з активним режимом у 5...10 разів;

– режим останова (*Stop mode, Sleep mode* або *Power Down mode*). У цьому режимі припиняється робота як центрального процесора, так і більшості периферійних модулів МК. Перехід МК зі стану останова в робочий режим можливий, зазвичай, тільки за перериваннями від зовнішніх джерел або після подачі сигналу скидання. В цьому режимі потужність споживання МК  $P_{STOP}$  знижується в порівнянні з активним режимом приблизно на три порядки і складає одиниці мікروات.

З метою забезпечення надійного запуску, контролю роботи МК та відновлення працездатності системи всі сучасні МК забезпечуються апаратними засобами забезпечення надійної роботи, а саме: схемою формування сигналу скидання МК, модулем моніторингу напруги живлення та сторожовим таймером[3].

### **1.3.3. PIC-контролери та їх характеристики**

*PIC*-контролери (*Periferial Interface Controller*), або контролери периферійних інтерфейсів, є типовими представниками *RISC*-процесорів. Вони були розроблені фірмою *Microchip*. *PIC*-контролери знайшли застосування в багатьох галузях: системах управління автомобільними та електричними двигунами, приладах побутової електроніки, системах охорони із сповіщенням по телефонній лінії, та міні-АТС. Окремі ВІС відрізняються між собою розрядністю ПЗП: від 12 до 14 біт в серії *PIC16Cxx*, 16 біт в серії *PIC17Cxx*. Завдяки скороченому числу команд – від 33 до 35, всі команди займають в пам'яті лише одне слово. Час виконання кожної команди, крім команд розгалуження, складає чотири машинні такти, тобто один машинний цикл (200 нс на частоті 20 МГц). ОЗП виконаний за схемою з довільною вибіркою з можливістю безпосередньої адресації до будь-якої комірки пам'яті. Стек реалізований апаратно, та має глибину 2, 8 або 16 комірок. Майже всі *PIC*-контролери мають систему переривань, джерелами переривань для якої можуть служити переповнювання таймерів, або зміни станів сигналів на деяких входах ВІС.



У PIC-контролерах передбачений біт захисту ПЗП, який запобігає нелегальному копіюванню вмісту пам'яті.

Великі інтегральні схеми PIC16Cxx містять вбудовані ПЗП, що має ємність від 0,5 до 4 кілобайт, та ОЗП, що має ємність від 32 до 256 байт. Переважна більшість контролерів має одноразово програмований ПЗП. Але деякі контролери містять ПЗП з ультрафіолетовим стиранням, а , наприклад, контролер PIC16C84 містить пам'ять програм і пам'ять даних на базі ПЗП з електричним стиранням. Крім того, контролери мають від одного до трьох таймерів, сторожовий таймер, вбудовану систему скидання, внутрішній тактовий генератор, який може запускатися як від кварцевого резонатора, так і від RC-ланцюга в широкому діапазоні частот 0-25 МГц. Кількість розрядів портів 12-33. Кожен розряд порту можна запрограмувати на ввід або на вивод. Контролер PIC16C64 додатково має вихід ШІМ, за допомогою якого можна реалізувати ЦАП розрядністю до 16 розрядів, крім того, послідовний двонаправлений синхронний порт з інтерфейсами SPI, I2C, SCI/UART. Контролери PIC 16C71 і PIC 16C74 містять внутрішній 8-розрядний АЦП з пристроєм вибірки/зберігання та вхідним аналоговим мультиплексором.

Контролери PIC17Cxx містять вбудований апаратний 8-розрядний помножувач, два виходи ШІМ, два виводи з відкритим колектором, чотири таймери/лічильники, та 11 джерел переривань. У цих контролерів передбачена можливість виконання програми із зовнішнього ПЗП.

Контролер PIC1400 має програмований вибір генератора: вбудованого 4 МГц резонатора або зовнішнього кварцевого або керамічного резонатора, сторожовий таймер з окремим вбудованим RC-генератором, внутрішньосхемним програмуванням через два виводи. Контролер має два режими зниженого енергоспоживання – 200 мкА, 3 В при відключеному генераторі і активних аналогових схемах, та 5 мкА; та 3 В при відключених генераторі і аналогових схемах.

Процесор PIC1400 містить інтегральний АЦП на 8 каналів. Час перетворення АЦП складає 16 мс при тактовій частоті 4 МГц і розрядній сітці в 16 біт.

Цей контролер містить також 4-розрядний ЦАП, вбудований датчик температури з роздільною здатністю 0,10 В, а також вбудований детектор зниженої напруги живлення [28].

### 1.3.4. Архітектура PIC- контролерів

В якості прикладу архітектури PIC-контролерів розглянемо ВІС PIC16C71 (рис. 1.3).

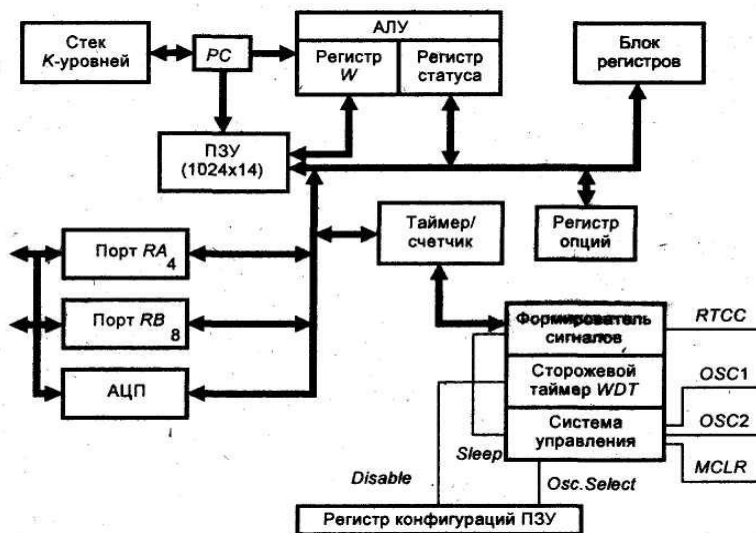


Рис. 1.3. Структурна схема контролера PIC16C71

Основою її архітектури є роздільні шини даних та команд і, відповідно, області пам'яті для даних та команд. Його шина даних та комірки ОЗП 8-розрядні, а шина команд і програмна пам'ять (ПЗП) 14-розрядні. У нього 14-розрядна команда вибирається за один цикл. Двоступеневий конвеєр забезпечує одночасний вибір і виконання команди. Система команд містить 35 команд, всі команди виконуються за один цикл, за винятком команд переходів, які, на відміну від інших, виконуються за два цикли.

Структурна схема контролера містить:

- 8-рівневий апаратний стек (STACK);
- 13-розрядний програмний лічильник (PC);
- 8-розрядний арифметико-логічний пристрій (ALU);
- ОЗП (BLOCKREG), яке складається з 36-ти 8-розрядних РЗП;

- 15 регістрів спеціальних функцій (*SFR*) – на рисунку показано регістр непрямої адресації (*WREG*)(див. рис.1.3.), регістр статусу (*SREG*), регістр опцій (*OPTREG*), та регістр (*CREG*) конфігурації ПЗП;
- 8-розрядний таймер/лічильник (*T/C*) з 8-розрядним програмованим переддільником;
- модуль АЦП (*ADC*), який має чотири входи;
- 13 ліній введення/виведення (4-розрядний порт (*PA*), 8-розрядний порт (*PB*), лінія *RTCC*);
- сторожовий таймер (*watchdog, WDT*);
- формувач (*Form*) зовнішнього сигналу *RTCC* або сигналу сторожового таймера;
- систему управління і синхронізації з внутрішнім генератором (*Synhr.Control System*) [28].

### 1.3.5. Характеристика AVR-мікроконтролерів

Однокристалні AVR-мікроконтролери представляють собою 8-розрядні високопродуктивні RISC-контролери загального призначення. Особливістю AVR-контролерів є їх широка номенклатура, яка дозволяє користувачу вибрати найбільш придатний для його потреб мікроконтролер з мінімальною апаратною надмірністю і, відповідно, найменшою вартістю. Наприклад, в номенклатуру МК групи AT90S входять вироби з ПЗП, що мають об'єм від 1 до 8 Кбайт, з різними наборами периферії і в корпусах, що мають з кількістю виводів від 8 до 48. На сьогоднішній день в серійному виробництві перебувають три сімейства AVR: *Tiny*, *Classic* і *Mega*. Мікроконтролери сімейства *Tiny* є найбільш дешевими та простими, *Mega* – найбільш потужними, а *Classic* займають проміжне місце між ними.

Основні сімейства AVR-контролерів:

1. *Classic* – основна лінія МК з продуктивністю до 16 MIPS, мають пам'ять програм FLASH ROM 2-8Кбайт, пам'ять даних EEPROM 64-512 байт, пам'ять даних SRAM 128-512 байт.
2. *Tiny* – МК низької вартості у 8-вивідному виконанні, які мають вбудовану систему контролю напруги живлення.

3. *Mega* – найбільш потужні МК, що мають продуктивність 4-6 *MIPS*, пам'ять програм *FLASH ROM* 64-128Кбайт, пам'ять даних *EEPROM* 64-4096 байт, пам'ять даних *SRAM* 1-4 Кбайт, вбудований 10-розрядний 8-канальний АЦП, та апаратний помножувач [19].

### 1.3.6. Архітектура AVR-мікроконтролерів

В якості прикладу розглянемо архітектуру МК AVR-мікроконтролерів сімейства *Classic AT90S8535* (рис. 1.4).

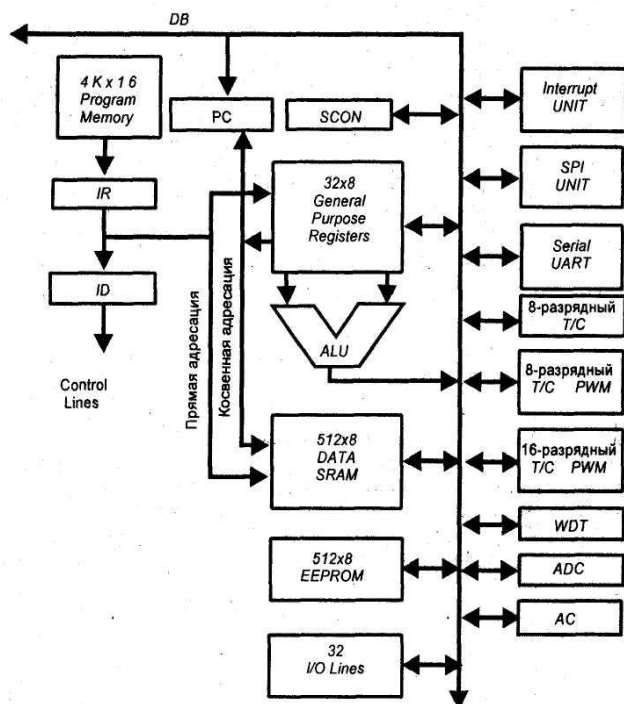


Рис. 1.4. Архітектура мікроконтролера AT90S8535

МК містить процесор з Гарвардською архітектурою, регістровий файл, пам'ять програм, пам'ять даних та різні інтерфейсні схеми, тобто периферію.

Процесор з Гарвардською архітектурою реалізує повне логічне і фізичне розділення не тільки адресних просторів, але і інформаційних шин для звернення до пам'яті програм і до пам'яті даних. При цьому способи адресації і доступу до цих масивів пам'яті також є різними. Подібна побудова наближається до структури цифрових сигнальних процесорів і забезпечує значне підвищення продуктивності. Процесор одночасно працює як з пам'яттю програм, так і з пам'яттю даних. Розрядність шини пам'яті програм розширена до 16 біт. МК AVR використовує

технологію конвеєризації, в наслідок чого цикл «вибірка – виконання» команди істотно скорочується. Для порівняння, у МК сімейства *MCS51* коротка команда виконується за 12 тактів генератора, тобто за один машинний цикл, впродовж якого процесор послідовно зчитує код операції та виконує її. У *PIC*-контролерах фірми *Microchip*, де вже реалізований конвеєр, коротка команда виконується впродовж 8 періодів тактової частоти, тобто за два машинних цикли. За цей час послідовно дешифрується і прочитується код операції, потім виконується команда, фіксується результат і одночасно прочитується код наступної операції – так званий однорівневий конвеєр. Тому, в загальному потоці команд, одна коротка команда реалізується за 4 періоди тактової частоти або за один машинний цикл. У МК *AVR* теж використовується однорівневий конвеєр: при зверненні до пам'яті програм і короткі команди в загальному потоці виконуються, як і в *PIC*-контролерах, за один машинний цикл. Головна ж відмінність між ними полягає в тому, що цей цикл в МК *AVR* складає всього один період тактової частоти [19].

#### **1.4. Огляд та порівняння основних видів датчиків для метеостанцій**

Датчик – це конструктивна сукупність одного або декількох первинних вимірювальних перетворювачів величини, що вимірюється і контролюється, у вихідний сигнал, який дистанційно передається та використовується в системах керування, які мають нормовані метрологічні характеристики.

Датчики є елементами технічних систем, призначених для вимірювання, сигналізації, регулювання, управління приладами та процесами. Датчики перетворюють величину, яка контролюється, наприклад, тиск, температура, концентрація, частота, швидкість, відстань переміщення, електрична напруга, електричний струм, в сигнал – електричний, оптичний, пневматичний, який є зручним для вимірювання, передачі, перетворення, зберігання інформації про стан об'єкта вимірювання. Історично і логічно датчики тісно пов'язані з вимірювальними приладами та технікою вимірювання, наприклад, термометрами, барометрами і т.д. Узагальнююче поняття «датчик» закріпився в зв'язку з розвитком автоматичних систем управління, як елемент узагальненої логічної концепції: датчик – прилад

управління – виконавчий прилад – об'єкт управління. Окремий випадок – використання датчиків в автоматичних системах реєстрації параметрів, наприклад, в системах наукових досліджень.

Датчики можливо класифікувати за двома ознаками:

1. По параметру зовнішнього середовища, який перетворюється в напругу або струм. Відрізняють датчики тиску, сили, положення – по координаті або по куту, переміщення – по координаті або по куту, по швидкості – лінійної або кутової, по прискоренню – лінійне або кутове, по вібрації, по кількості оборотів, по деформації, вологості і т.д.

2. По фізичному принципу, за яким діє датчик. Розрізняють датчики ємнісні, п'єзоелектричні, диференційно-трансформаторні, термопарні, тензорезистивні, потенціометричні, датчики на ефекті Хола, п'єзорезистивні, магніторезистивні, індукційні, тощо [22].

Датчик, що працює на будь-якому фізичному принципі, може працювати як датчик різних параметрів зовнішнього середовища.

Класична (аналогова) метеорологічна станція містить наступні складові:

1. Термометр – для виміру температури.
2. Барометр – для виміру тиску.
3. Гігрометр – для виміру вологості повітря.
4. Анемометр – для виміру швидкості вітру.
5. Флюгер – для виміру напрямку вітру.
6. Осадомір – для виміру атмосферних осадів.

#### **1.4.1. Основні типи датчиків температури**

Для вимірювання температури використовуються температурні сенсори різноманітних типів, серед яких найпоширенішими є резистивні датчики температури, термістори, напівпровідникові датчики температури, термопари, датчики з цифровим виходом [22].

## Терморезистори

Як відомо, опір металічних провідників залежить від температури згідно з формулою:

$$R_t = R_0[1 + \alpha(T_2 - T_1)],$$

де  $R_t$  – опір при температурі  $T_2$ , Ом;

$R_0$  – опір при температурі  $T_1$ , Ом;

$\alpha$  – температурний коефіцієнт.

Температурний коефіцієнт, залежить від металу, наприклад, для заліза  $\alpha = +0,005$ ; для платини  $\alpha = 0,0038$ ; для алюмінію  $\alpha = 0,0038$ , тощо. На сьогоднішній день, зазвичай, використовують платинові датчики, оскільки вони, на відміну від інших металів мають високу лінійність, яка у діапазоні температур від 0 до  $+100^\circ\text{C}$  лінійність складає лише  $\pm 0,2\%$ . Платинові датчики використовуються для вимірювання широкого діапазону температур – від  $-183$  до  $+630^\circ\text{C}$ . При більш низьких температурах використовують датчики з родію.

## Термістори

Термістори – це нелінійні напівпровідникові резистори. Термістори являють собою тонкий шар напівпровідника, який розташовується на конструктивній підложці з оксидів міді, кобальту, нікелю, або інших металів. На відміну від термічних резисторів, зміна опору таких резисторів дуже велика: від 4 до 6% на один градус Цельсія. Термістори бувають двох типів: негативні та позитивні. У негативних опір зменшується при зростанні температури, у позитивних навпаки – збільшується. Залежність опору від температури описується наступною формулою:

$$R_t = R_0 \exp[\beta(1/T_2 - 1/T_1)],$$

де  $R_t$  – опір при температурі  $T_2$ , Ом;

$R_0$  – опір при температурі  $T_1$ , Ом;

$\beta$  – фактор, що залежить від матеріалу,  $^\circ\text{K}$ .

Фактор  $\beta$  залежить від матеріалу і виражається у градусах Кельвіна, він знаходиться між  $1500^{\circ}\text{K}$  та  $7000^{\circ}\text{K}$ . Для порівняння зміна опору від температури для термічних резисторів та термісторів (рис.1.5).

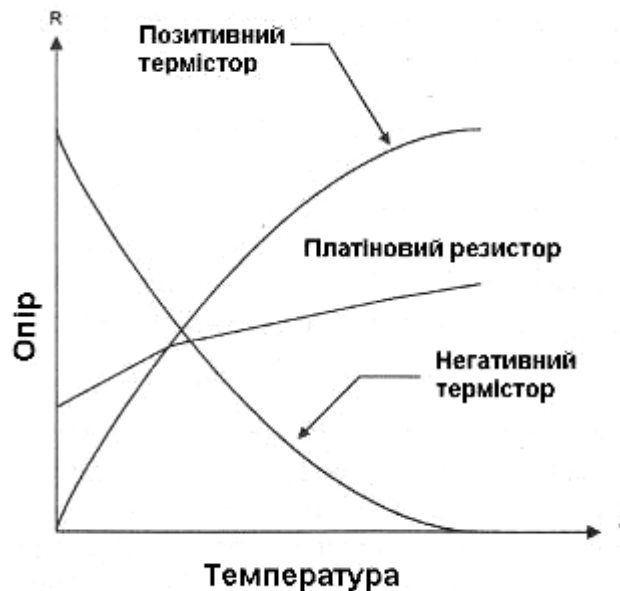


Рис. 1.5. Зміна опору від температури для термічного резистора

### Термопари

Термоелектричні явища були відкриті Томасом Зеєбеком у 1821 р. Вони полягали в тому, що якщо спай двох різних металів підіграти, то на кінцях їх виводів з'явиться напруга, що буде пропорційна зміні температури з коефіцієнтом, який залежний від того, яка пара металів використовується (рис.1.6).

Ці спаї, зазвичай, використовуються парами – гарячий спай та холодний спай, тому потенціал Зеєбека був пропорційним різниці температур між цими спаями. Холодний спай потрібно поміщати у холодну воду з температурою  $0^{\circ}\text{C}$ . Але в апаратурі частіше роблять штучний холодний спай. Так, замість холодного спаю роблять схему, яка має такий самий потенціал Зеєбека, як холодний спай.



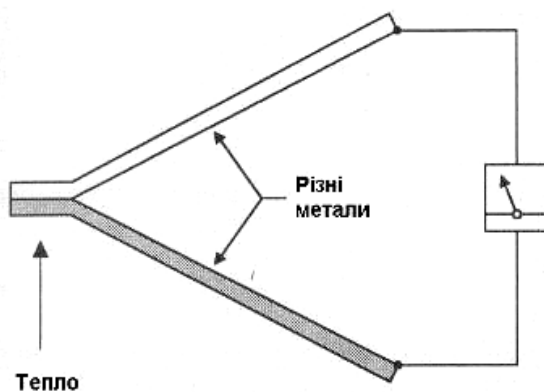


Рис.1.6. Схема ефекту Зеебека

Термопари, зазвичай, використовують для вимірювання високих температур, порядку  $1500^{\circ}\text{C}$ .

#### Мікросхемні датчики температури

Такі датчики являють собою стабілітрони, напруга стабілізації у яких залежить від температури з коефіцієнтом  $10\text{ мВ}/^{\circ}\text{K}$ . Еквівалентний йому стабілітрон має динамічний опір, менший за  $1\text{ Ом}$  та працює в температурних діапазонах від  $-55$  до  $+150^{\circ}\text{C}$ . Для таких мікросхем, як *LM135*, *LM235*, *LM335* похибка вимірювань складає менша за  $1^{\circ}\text{C}$ . Схема включення мікросхем такого типу (рис.1.7).

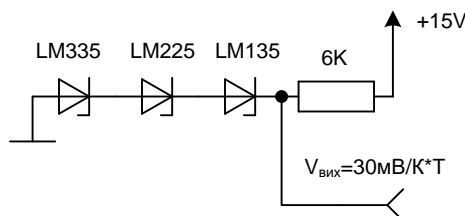


Рис.1.7. Схема включення мікросхемного датчика температури

### 1.4.2. Основні типи датчиків вологості

#### Сорбційно-ємнісні датчики

Принцип дії таких датчиків заснований на використанні фізичного явища залежності діелектричної проникливості сорбенту від кількості вологи, яка в ньому знаходиться. Шар сорбенту знаходиться між двома плоскими електродами, що разом утворюють конденсатор. В якості сорбенту використовують окисли металів та кремнію. Сорбційно-ємнісні датчики характеризуються практично лінійною

залежністю «вологість-ємність». Сучасні датчики такого типу мають діапазон вимірювання вологості від 0 до 100%, маючи лінійність у цьому діапазоні 1%.

#### Резистивні датчики вологості

У резистивних датчиків вологості при зміні вологості змінюється опір сорбенту, де відбувається чергування шарів пористої платини та полімеру, що нанесені на підложку з кремнію. Такі датчики є менш точними і мають велику залежність від температури – до 0,6% опору на 1 градус Цельсія. Без використання кіл температурної компенсації такі датчики можна використовувати тільки у приміщеннях зі стабільними температурними умовами. Діапазон вимірювання вологості від 30 до 90%, лінійність у цьому діапазоні 5%.

#### Термісторні датчики вологості

Схема термісторного датчику вологості (рис.1.8.). В схемі у вимірювальний міст включені два однакові термістори  $R_{t1}$  та  $R_{t2}$ , що прогриваються струмом від джерела  $+U$ .

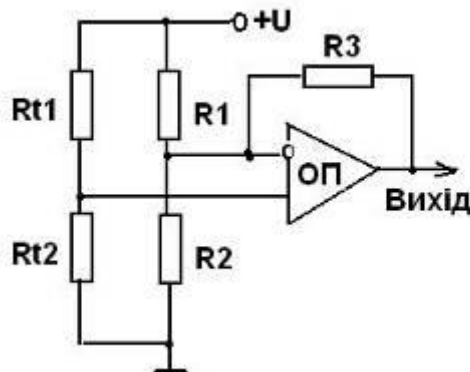


Рис.1.8. Термісторний датчик вологості

Один з цмх термісторів поміщений у скляну оболонку, а другий ні. Чим більша вологість, тим більше охолоджується термістор, який не знаходиться у скляній оболонці, відповідно тим більшим буде розбаланс мосту, що потім підсилюється операційним підсилювачем ОП. Тому напруга на виході прямо пропорційна вологості. Перевага такої схеми – у незалежності від температури, тому що опори термісторів під дією температури змінюються однаково [24].

### 1.4.3. Основні типи датчиків тиску

Датчики тиску з цифровим вихідним сигналом мають великий вибір конструктивного виконання сенсорів, виходячи з фізичних принципів їх роботи: ємнісні, струнні, індукційні, п'єзорезистивні, магнітні, тензометричні і т.п. [22]. Розглянемо детальніше деякі з них.

Ємнісні датчики. Датчики цього типу складаються з ємності і двох пластин, відстань між якими заповнена ізолюючої середовищем. У більшості таких датчиків виробники використовують силіконове масло. Діафрагма, розташована між цими пластинами, деформується під впливом тиску зовнішнього середовища. Слід враховувати, що при вимірюванні надлишкового тиску на бік низького тиску діафрагми подається атмосферний тиск, а при вимірі абсолютного тиску подається еталонний тиск на мембрану. Далі пластини визначають кут нахилу діафрагми і посиляють відповідний сигнал на блок електроніки.

П'єзорезистивні датчики. В основі таких датчиків лежить пьезорезистор, який являє собою напівпровідник, опір якого змінюється при його деформації. У даному випадку тиск передається через рідину від діафрагми до пьезорезистору. Далі виміряне значення опору надходить в електронний блок, який перетворює сигнал в електричний.

Індукційні датчики. Ці датчики засновані на передачі магнітних полів від одного тіла до іншого, яке не контактує безпосередньо з першим. Конструктивно індукційний датчик має залізний сердечник в дротяній обмотці, по якій проходить електричний струм. Сердечник з'єднаний з діафрагмою і при зміні тиску змінюється положення сердечника відносно самої обмотки, що спричиняє зміни індуктивності обмотки. Далі відбувається перетворення виміряного сигналу в електронному блоці.

## 1.5. Розробка структурної схеми пристрою вимірювання та цифрової обробки метеорологічної інформації

### 1.5.1. Обґрунтування та склад структурної схеми пристрою

Система збору та цифрової обробки метеорологічної інформації має наступний склад (рис. 1.9):

- набір цифрових датчиків, призначених для збору метеорологічної інформації;
- мікроконтролер, призначений для обробки даних, отриманих від датчиків, та для керування системою;
- цифровий дисплей, призначений для візуального відображення вихідної інформації;
- перетворювач *UART* рівнів сигналу МК, для підключення системи збору метеорологічної інформації до ЦЕОМ;
- ЦЕОМ, призначена для збереження, накопичення та подальшої обробки метеорологічної інформації;
- блок живлення зі стабілізатором напруги та шиною живлення, призначений для видачі живлячих напруг на всі пристрої системи.

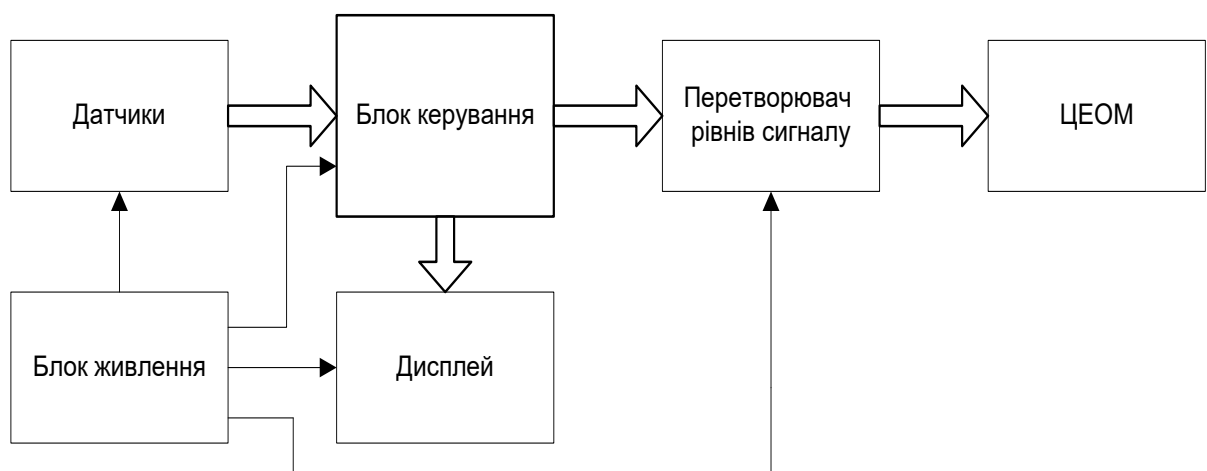


Рис. 1.9. Структурна схема системи цифрового збору і обробки метеорологічної інформації

### **1.5.2. Опис роботи пристрою**

Принцип роботи системи збору і обробки метеоінформації, структурна схема (див. рис.1.9), полягає в наступному. Три датчика вимірюють свої фізичні величини. На виході цих датчиків, після вимірювання фізичних величин, утворюються цифрові або аналогові сигнали, що подаються на входи АЦП, або цифрові входи блоку керування МК. Потім, після приведення до вигляду, придатного для сприймання людиною, дані виводяться на дисплей, та одночасно з цим, після перетворення сигналу до вигляду, придатного для ЦЕОМ, передаються до останньої для подальшого зберігання та обробки.

### **1.5.3. Загальні вимоги до системи збору та цифрової обробки метеорологічної інформації**

1. Система повинна забезпечувати автоматичний моніторинг наступних первинних параметрів погоди для контролю температури, барометричного тиску, вологості повітря.

2. Система повинна мати можливість визначення поточного часу.

3. Система має забезпечувати неперервний вивід на дисплей поточних значень всіх трьох первинних вимірюваних параметрів, а також часу.

4. Система має мати функцію вимірювання та оцінки остаточної ємності батареї живлення.

5. В системі має забезпечуватись передача вимірюваних параметрів на ЦЕОМ для їх подальшого зберігання та обробки.

6. Швидкодія системи повинна бути достатньою для забезпечення одночасної роботи з трьома датчиками в реальному масштабі часу.

7. Виходячи з умов експлуатації системи, вона повинна забезпечувати надійну роботу в широкому спектрі температур зовнішнього середовища.

8. Діапазон вимірювальних параметрів: температури  $-50/+70$  C, вологості 20-95% . Похибка вимірювання: 1 C, 1%, 1 мм рт. ст.

## Висновки за розділом

У першому розділі нашого дослідження було проведено аналіз мікроконтролерів (МК), їх огляд, розглянуті основні типи та архітектури цих пристроїв, їхні можливості та характеристики. Окремий акцент був зроблений на вивченні доцільності використання мікроконтролерів як засобу управління системою збору та обробки метеорологічної інформації.

Паралельно з аналізом мікроконтролерів, ми також детально розглянули основні типи датчиків, які використовуються у функціонуванні метеорологічних станцій. Це дозволило нам отримати повний огляд технічних характеристик та можливостей цих датчиків, а також їхнє місце у системах збору метеоданих.

Після успішного завершення етапу створення структурної схеми автоматизованої системи збору та цифрової обробки метеорологічної інформації, настав час для подальшого розвитку та удосконалення системи. Новий етап передбачав впровадження передових технологій та методів, які сприяли б підвищенню ефективності та точності збору даних. Зокрема, вдосконалення включало в себе оптимізацію використання мікроконтролерів, забезпечення їхньої максимальної продуктивності та взаємодії з іншими елементами системи. Додатково, розробники працювали над розширенням функціональності системи, додаванням нових можливостей та опцій для користувачів.

Одним із важливих аспектів розвитку системи було покращення взаємодії з різними типами датчиків. Це включало в себе не лише розширення підтримки існуючих типів датчиків, але і інтеграцію нових, більш сучасних та точних моделей для забезпечення більш повного та надійного збору метеорологічних даних. Загальні вимоги до системи також притерпіли певні зміни та доповнення.

У результаті цих розширень та удосконалень система збору та цифрової обробки метеорологічної інформації стала високоефективною, надійною та адаптованою до сучасних вимог, що забезпечує точне та швидке збір та обробку метеорологічних даних для подальшого використання у різних галузях та дослідженнях.

## РОЗДІЛ 2

# РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ ЗБОРУ ТА ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ МЕТЕОРОЛОГІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

### 2.1. Вибір елементної бази системи

#### 2.1.1. Мікроконтроллер

В процесі розробки апаратних засобів в якості блока керування було обрано МК сімейства *MEGA* від фірми *Atmel*. В загальному випадку МК *MEGA* являє собою восьмирозрядну однокристальну мікро-ЕОМ, що має систему команд *RISC* і виготовляються по технології КМОП (*CMOS*) та мають повністю статичну структуру. До складу цього сімейства входять МК більш ніж 100 різних типів. Розглянемо основні типи контролерів сімейства, запам'ятовуючі та периферійні пристрої і деякі вузли, що входять до складу МК кожного типу, а також їх основні характеристики та подамо результати аналізу у вигляді таблиці (табл.2.1) [9].

Таблиця 2.1

Основні типи МК сімейства *MEGA*

Тип МК	<i>Flash</i>	<i>SRAM</i>	<i>EEPROM</i>	<i>I/O</i>	<i>MOF</i>	<i>E/I</i>	<i>SPI</i>	<i>UART</i>	<i>ADCC</i>	<i>ADCR</i>	<i>AC</i>	<i>T/C</i>	<i>Vcc</i>
<i>ATmega128</i>	128	4	4096	53	16	8	1	2	8	10	1	4	2.7 до5.5
<i>ATmega16</i>	16	1	512	32	16	3	1	1	8	10	1	3	2.7 до5.5
<i>ATmega256</i>	256	8	4096	86	16	32	5	4	16	10	1	6	1.8 до5.5
<i>ATmega32</i>	32	2	1024	32	16	3	1	1	8	10	1	3	2.7 до5.5
<i>ATmega48</i>	4	0.5	256	23	20	24	2	1	8	10	1	3	1.8 до5.5
<i>ATmega64</i>	64	4	2048	53	16	8	1	2	8	10	1	4	2.7 до5.5
<i>ATmega64</i>	64	4	2048	53	16	8	1	2	8	10	1	4	2.7 до5.5
<i>ATmega8</i>	8	1	512	23	16	2	1	1	8	10	1	3	2.7 до5.5
<i>ATmega8515</i>	8	0.5	512	35	16	3	1	1	0	0	0	2	2.7 до5.5

Скорочення:

*Flash* – внутрішній постійний запам'ятовуючий пристрій, що призначений для зберігання команд програми та констант;

*SRAM* – *Static RAM*, внутрішній оперативний запам'ятовуючий пристрій, що призначений для зберігання даних;

*EEPROM* – *Electrically Erasable Programmable ROM*, внутрішній запам'ятовуючий пристрій для зберігання даних, що може бути перепрограмований;

*I/O* – максимальна кількість входів-виходів паралельних портів пристрою;

*MOF* – *Max. Operating Frequency*, максимальна тактова частота роботи МК;

*E/I* – *Ext Interrupts*, кількість джерел запитів переривання;

*SPI* – блок послідовного периферійного інтерфейсу пристрою;

*UART* – *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*, універсальний асинхронний пристрій прийому/передачі;

*ADCC* – *ADC Channels*, кількість каналів АЦП ;

*ADCR (bits)* – *ADC Resolution*, розрядність АЦП;

*T/C* – кількість таймерів-лічильників;

*AC* – аналоговий компаратор;

*V<sub>cc</sub>*, *V* – діапазони значень напруги живлення пристрою.

Виходячи з постановки задачі, обираємо мікроконтролер відповідно до наших потреб. Було обрано МК *ATmega8*, зображення корпусу та умовно-графічне зображення цього МК (рис. 2.1) та (рис.2.2).

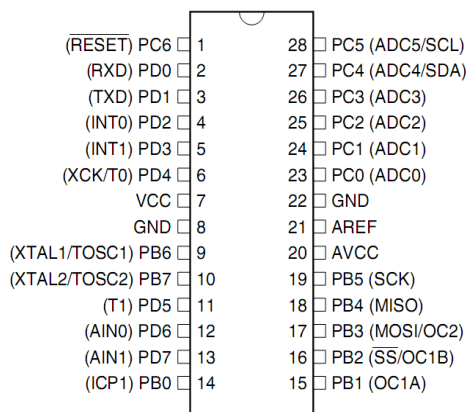


Рис. 2.1. Корпус *PDIP* мікроконтролера *ATmega8*



1	PC6 ( $\overline{RESET}$ )	MCU	PC5 (ADC5/SCL)	28
2	PD0 (RxD)		PC4 (ADC4/SDA)	27
3	PD1 (TxD)		PC3 (ADC3)	26
4	PD2 (INT0)		PC2 (ADC2)	25
5	PD3 (INT1)		PC1 (ADC1)	24
6	PD4 (XCK/T0)		PC0 (ADC0)	23
9	PB6 (XTAL1/TOSC1)		AREF	21
10	PB7 (XTAL2/TOSC2)		PB5 (SCK)	19
11	PD5 (T1)		PB4 (MISO)	18
12	PD6 (AIN0)		PB3 (MOSI/OC2)	17
13	PD7 (AIN1)		PB2 ( $\overline{SS}$ /OC1B)	16
14	PB0 (ICP1)		PB1 (OC1A)	15

Рис. 2.2. Умовне графічне зображення мікроконтролера *ATmega8*

Як видно із зображення корпусу, МК має 28 виводів. Їх призначення приведено нижче (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Призначення виводів МК *ATmega8*

Номер ніжки	Позначення	Призначення
1	<i>PC6/RESET</i>	Порт <i>C</i> , також це є вхід скидку контролера
2	<i>PD0/RxD</i>	Порт <i>D</i> , мультиплексований з вхідною лінією <i>UART</i>
3	<i>PD1/TxD</i>	Порт <i>D</i> , мультиплексований з вихідною лінією <i>UART</i>
4	<i>PD2/INT0</i>	Порт <i>D</i> , вхід зовнішнього джерела переривань
5	<i>PD3/INT1</i>	Порт <i>D</i> , вхід зовнішнього джерела переривань
6	<i>PD4/XCK/T0</i>	Порт <i>D</i> , вихід таймера 0
7	<i>Vcc</i>	Вхід цифрового живлення
8	<i>GND</i>	Земля
9	<i>PB6/XTAL1/TOSC1</i>	Порт <i>B</i> , вхід синхронізації
10	<i>PB7/XTAL2/TOSC2</i>	Порт <i>B</i> , вхід синхронізації
11	<i>PD5/T1</i>	Порт <i>D</i> , вихід таймера 1
12	<i>PD6/AIN0</i>	Порт <i>D</i> , вхід аналогового компаратора
13	<i>PD7/AIN1</i>	Порт <i>D</i> , вхід аналогового компаратора
14	<i>PB0/ICP1</i>	Порт <i>B</i> , вхід таймера 1
15	<i>PB1/OC1A</i>	Порт <i>B</i> , вихід компаратора
16	<i>PB2//SS/OC1B</i>	Порт <i>B</i> , лінія вибору пристрою інтерфейсу <i>SPI</i>
17	<i>PB3/MOSI/OC2</i>	Порт <i>B</i> , сигнал видачі даних <i>SPI</i>

Номер ніжки	Позначення	Призначення
18	<i>PB4/MISO</i>	Порт В, лінія прийому даних <i>SPI</i>
19	<i>PB5/SCK</i>	Порт В, лінія синхронізації інтерфейсу <i>SPI</i>
20	<i>AVcc</i>	Вхід живлення аналогової периферії
21	<i>Aref</i>	Вхід опорного джерела напруги
22	<i>GND</i>	Земля
23	<i>PC0/ADC0</i>	Порт С, перший вхід АЦП
24	<i>PC1/ADC1</i>	Порт С, другий вхід АЦП
25	<i>PC2/ADC2</i>	Порт С, третій вхід АЦП
26	<i>PC3/ADC3</i>	Порт С, четвертий вхід АЦП
27	<i>PC4/ADC4/SDA</i>	Порт С, п'ятий вхід АЦП, лінія даних <i>IIC</i>
28	<i>PC5/ADC5/SDL</i>	Порт С, шостий вхід АЦП, лінія синхронізації <i>IIC</i>

#### Характеристики архітектури МК *ATmega8*:

- включає в себе 130 інструкцій;
- 32 8-ми розрядних регістри;
- апаратний помножувач.

#### Пам'ять МК *ATmega8*:

- 8кБ *Flash*-пам'яті програм;
- 512 байт пам'яті типу *EEPROM*;
- 1кБ пам'яті типу *SRAM*.

#### Периферія МК *ATmega8*:

- два 8-ми бітні таймери;
- один 16-ти бітний таймер;
- таймер реального часу;
- три канали ШИМ (широтно-імпульсна модуляція);
- 8/6 каналний АЦП (залежить від типу корпусу);
- аналоговий компаратор;
- *watchdog*-таймер;
- інтерфейси *USART* та *SPI*.

Спеціальні функції МК *ATmega8*:

- вузол внутрисхемного скидання;
- внутрішній *RC*-генератор;
- зовнішні та внутрішні джерела переривань;
- 5 режимів енергозбереження пристрою.

Ввід/вивід МК *ATmega8*:

- 23 програмуємі лінії вводу/виводу;
- 28 ніжок в корпусі *PDIP*, 32 ніжки в корпусі *TQFP* та 32 ніжки в корпусі *QFN/MLF*.

Напруга живлення пристрою:

- 4,5В – 5,5В [9].

При напрузі живлення 4В, частоті роботи в 4МГц струм споживання становить 3,6мА.

### **2.1.2. ЖК-індикатор**

Для пристрою, що розробляється, було обрано двохстрічний індикатор *WH1602A* з внутрішньою відеопам'яттю і контролером *HD44780* [12].

Основні параметри:

- тип: символний, знакосинтезуючий;
- роздільна здатність: 16 символів x 2 строк;
- розміри модуля, мм: 84.0 x 44.0;
- розмір видимої області, мм: 66.0 x 16.0, діагональ: 2.7 " = 6.8 см;
- розмір точки, мм: 0.55 x 0.65;
- тип контролера: *S6B0066U (HD44780)*.

### **2.1.3. Пристрій узгодження рівнів сигналу МК та ЦЕОМ**

За стандартною логікою одиниці відповідає рівень напруги від 2,4 до 5 В, а нулю – від 0 до 0,8 В. Але, при передачі по каналу *RS-232* нуль та одиниця кодуються однаковими за своєю величиною – від 5 до 12 В, але різними за знаком сигналами. Оскільки для передач по каналу *RS-232* стандартні логічні сигнали повинні бути перетворені в сигнали другого рівня, то необхідно передбачити у схемі відповідні засоби для цього перетворення. Раніше для цього використовувались спеціальні

транзисторні, діодні та резисторні каскади. На сьогоднішній день є можливим використання спеціальних мікросхем – перетворювачів, які потребують мінімальної кількості додаткових елементів [25]. До цих схем відносяться *MAX232* від *MAXIM* і повністю їй ідентична схема *AD232* від *Analog Devices*. Всередині обидві мікросхеми містять перетворювач напруги +5 В у  $\pm 10$  В і каскади, що здійснюють перетворення логічних сигналів стандартного рівня у сигнали рівня по стандарту *RS-232*. Кожна із перерахованих вище мікросхем містить перетворювачі логічного рівня для двох приймачів і двох передавачів. Ми використовуємо мікросхему *MAX232* і тільки один її приймально-передавальний канал (рис. 2.3).

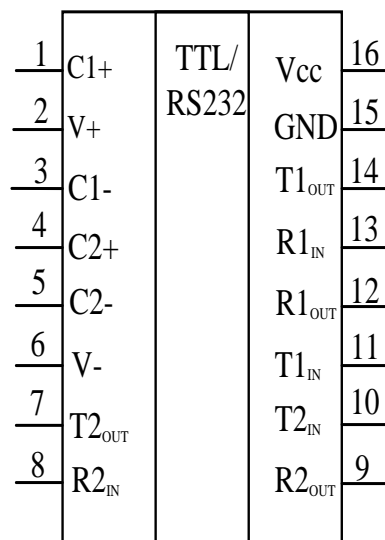


Рис. 2.3. Умовне графічне позначення мікросхеми *MAX232*

Швидкість обміну інформацією може змінюватись та бути вибрана в межах від 9600 бод до 115200 бод. Оскільки МК при різних швидкостях і опорних частотах має різні помилки передачі, то при опорній частоті, що складає 2 МГц, ця помилка буде мінімальною при швидкості 19200 бод – саме тому буде використовуватись саме така швидкість. Вона є достатньою для обміну інформацією між МК і комп'ютером, а також дозволяє використовувати навіть старі комп'ютери 386 типу.

Технічні характеристики послідовного інтерфейсу МК *MAX232*:

- діапазон вхідної напруги низького рівня – від 0 до 0,8 В;
- діапазон вхідної напруги високого рівня – від 2,4 до 5 В;

- час установки вихідної напруги – 4  $\mu$ s;
- діапазон вихідної напруги –  $\pm 10$  В;
- швидкість передачі даних – 19200 бод;
- максимальна помилка при передачі – 0,2 %.

#### 2.1.4. Цифровий датчик температури

Для пристрою, що розроблюється, було обрано цифровий датчик температури від компанії *Dallas Semiconductor*. Цей вибір було здійснено через наступні основні переваги температурних датчиків:

- Пряме перетворення температури в цифровий код без використання додаткових АЦП;
- Можливість роботи з комп'ютерною мережею *MicroLAN*, що дозволяє приєднувати по двох дротах практично необмежену кількість датчиків;
- Відсутність додаткових зовнішніх компонентів;
- Заводське калібрування;
- Широкий діапазон вимірювання температури:  $-55^{\circ}\text{C} \dots +125^{\circ}\text{C}$ ;
- Помилка виміру температури не більш  $0,5^{\circ}\text{C}$  (крім *DS1821* -  $1,0^{\circ}\text{C}$ );
- Час перетворення температури в цифрове значення не більш 1 с.

Проаналізуємо параметри основних моделей датчиків компанії *Dallas Semiconductor* (табл. 2.3).

Скорочення:

*FT* – функція термостата;

*ML* – цифровий термометр, який дозволяє побудову протяжних систем дистанційного вимірювання температури шляхом об'єднання по мережі *MicroLAN*;

Типи інтерфейсу:

*3W* – 3-х провідний послідовний;

*2W (I2C)* – 2-х провідний послідовний;

*1W* – 1- провідний послідовний; *MicroLan* - 1-провідна мережа.

Датчики компанії *Semiconductor*

Модель	Крок вимірювання, °C/бит	$U_{жив.}$ , В	Інтерфейс	Корпус	Примітки	Короткий опис
<i>DS1620</i>	0,5 / 9	4,5-5,5	3W	<i>DIP8, SO8</i>	<i>FT</i>	Цифровий термометр і термостат
<i>DS1621</i>	0,5 / 9	2,7-5,5	2W ( $I^2C$ )	<i>DIP8, SO8</i>	<i>FT</i>	Цифровий термометр і термостат
<i>DS1624</i>	0,03125 / 13	2,7-5,5	2W ( $I^2C$ )	<i>DIP8, SO8</i>	256 байт ЕСППЗ П	Цифровий термометр
<i>DS18B20</i>	0,5...0,0625 / 9...12	3,0-5,5	<i>MicroLAN</i>	<i>TO92, SO8</i>	<i>ML 16</i> біт ЕСППЗ П, <i>FT</i>	Однопроводний цифровий термометр
<i>DS18S20</i>	0,5 / 9	3,0-5,5	<i>MicroLAN</i>	<i>TO92, SO8</i>	<i>ML 16</i> біт ЕСППЗ П, <i>FT</i>	Однопроводний цифровий термометр
<i>DS1821</i>	1,0 / 8	2,7-5,5	1W	<i>TO92, SO8</i>	<i>FT</i>	Програмуємий цифровий термостат

Враховуючи початкові вимоги щодо побудови термометра, в якості термодатчика оберемо модель *DS1820*.

Розглянемо особливості роботи цього термодатчика.

Термодатчик *DS1820* є сумісним з мережею 9-розрядним цифровим термометром, діапазон температурних вимірювань становить  $-55 +125^{\circ}C$  з кроком  $0,5^{\circ}C$ . *DS1820* конструктивно складається з ПЗП, що має унікальний ідентифікаційний номер, контролера *MicroLAN*, одного температурного датчика та двох регістрів, призначених для збереження верхнього і нижнього порогів температури (рис.2.4).

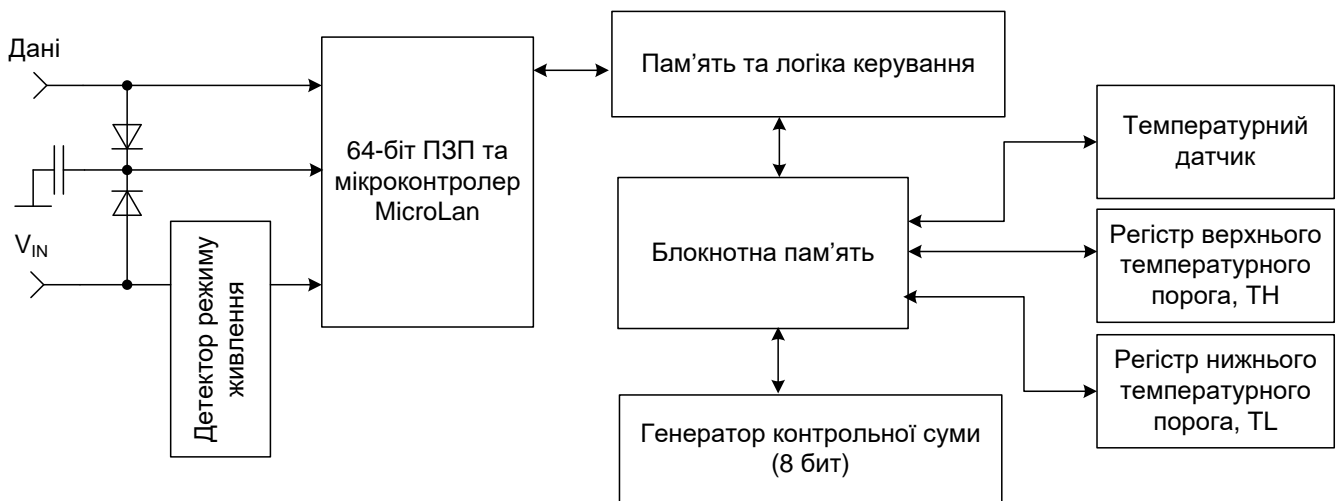


Рис. 2.4. Структурна схема цифрового датчика *DS1820*

Цей термометр не містить внутрішнього джерела живлення, а використовує «паразитне» живлення від однопровідної шини. Застосування зовнішнього джерела живлення прискорює перетворення температури, оскільки від ведучої шини не потрібне очікування протягом максимально можливого часу перетворення. При цьому всі прилади *DS1820*, що розташовані на шині, можуть виконувати перетворення температури одночасно і в той самий час, коли здійснюється обмін даними шини *MicroLAN*. Після завершення процесу перетворення, отримане під час цього перетворення значення порівнюється з величинами, що зберігаються в регістрах *TH* і *TL*. Якщо вимірювана температура виходить за встановлені межі, то встановлюється сигнальний «прапор»; його установка здійснюється після кожного виміру. При встановленому «прапорі» датчик відповідає на команду «Пошук сигналу» – це дозволяє швидко ідентифікувати точку з відхиленнями температури, що виходить за припустимі межі, та одразу зчитати показання відповідного термометра. Якщо ж команда «Пошук сигналу» не застосовується, тоді регістри *TH* і *TL* можуть бути використані в якості регістрів загального призначення.

Цифровий термометр, що дає підвищену точності вимірювань – *DS18S20*, має параметри, аналогічні до параметрів *DS1820* і є повністю програмно сумісний з ним. Основна відмінність *DS18S20* полягає в тому, що в діапазоні температур, що вимірюються, від  $-10$  до  $+85^{\circ}\text{C}$  точність виміру складає  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . Крім цього, старший байт регістра температури містить біт знака (*S*), що вказує на позитивну або негативну

температуру. Цифровий термометр із програмувальним дозволом *DS18B20* призначений для виміру температури з заданою користувачем точністю. Для цього в його складі присутній регістр конфігурації, який встановлює один з дозволів: 0,5; 0,25; 0,125 або  $0,0625^{\circ}\text{C}$  [40].

### **2.1.5. Датчик відносної вологості**

Датчик відносної вологості *HIH-4000* від фірми *Honeywell*, виготовлений у виді інтегральної схеми. Сенсор датчика використовує планарний ємнісний полімерний елемент, чуттєвий до вологості повітря. Другий шар полімеру захищає сенсор від бруду, пилу, та інших шкідливих факторів навколишнього середовища. Датчик має калібрований лінеаризований вихід [23].

Область застосування датчика вологості:

- теплиці;
- сушарки;
- холодильники;
- метеорологічні вимірювання.

Основні властивості:

1. Похибка вимірювань –  $\pm 3.5\% RH$ .
2. Діапазон виміру – 0-100 % *RH*.
3. Лінійність вимірювань –  $\pm 0.5\% RH$ .
4. Гістерезис –  $\pm 3\% RH$ .
5. Відтворюваність –  $+ 0.5\% RH$ .
6. Постійна часу – 15 сек.
7. Стабільність роботи –  $\pm 0.2\% RH$  за 5 років.
8. Температурний діапазон –  $-40^{\circ}\text{C}$   $+85^{\circ}\text{C}$  [41].

Датчик вологості складається з інтегрального чуттєвого елемента, або сенсора, що живиться від вбудованого стабілізатора напруги, і повторювача напруги. Цей повторювач необхідний для ослаблення електромагнітних перешкод, виключення впливу опору навантаження і сполучної лінії на результати вимірів.

Датчики вологості калібруються фірмою-виготовлювачем, у зв'язку з чим кожен датчик вологості має індивідуальні калібровані коефіцієнти. Ці коефіцієнти



заносяться в файл калібрування пристрою введення інформації типу *RL*. Відносна вологість визначається по формулі:

$$RH=(a_1 +a_2*V_{out})*100\%,$$

де *RH* – відносна вологість повітря, %;

*a*<sub>1</sub> і *a*<sub>2</sub> – коефіцієнти калібрування;

*V*<sub>out</sub> – вихідна напруга датчика, В.

### 2.1.6. Датчик атмосферного тиску

Датчик атмосферного тиску *MPX 4115A* від фірми *Motorola*, виконано у виді інтегральної схеми. Датчик має калібрований лінеаризований вихід [23].

Область застосування датчика атмосферного типу:

- метеорологія;
- барокамери;
- теплиці.

Основні властивості *MPX 4115A*:

- похибка вимірювань – ±1.5% ;
- діапазон виміру – 15-115 кПа ;
- час встановлення – 0,02 сек. ;
- температурний діапазон вимірювань – -40 °С до 85 °С.

Датчик атмосферного тиску складається з інтегрального чуттєвого елемента – сенсора, що живиться від вбудованого стабілізатора напруги, і повторювача напруги який необхідний для ослаблення електромагнітних перешкод, виключення впливу опору навантаження на результати вимірів. Датчики атмосферного тиску калібрують фірмою-виготовлювачем, при цьому атмосферний тиск визначається за формулою.

$$P=a_1 + a_2*V_{out},$$

де *P* – атмосферний тиск, кПа;

*a*<sub>1</sub> і *a*<sub>2</sub> – коефіцієнти калібрування;

*V*<sub>out</sub> – вихідна напруга датчика, В.

Коефіцієнти калібрування вказуються для кожного датчика на зворотній стороні його корпуса та рівні: *a*<sub>1</sub>=10,6, *a*<sub>2</sub>=21,8.

Граничні режими роботи датчику атмосферного тмску:

- Атмосферний тиск – 400 кПа ;
- Температура збереження – +5...+40 °C ;
- Напруга живлення – +22 В ;
- Відносна вологість, не більше ніж – 100% ;
- Струм навантаження – 5 мА [43].

## 2.2. Основні технічні характеристики вузлів системи

### 2.2.1. Внутрішня структура МК

Мікроконтролер має *RISC*-архітектуру, але формат команди є двооперандний, тобто за один такт може бути звернення тільки до двох регістрів. Контролер містить 32 регістри, які можуть рівноправно використовуватися для арифметичних операцій. Структурна схема процесора *ATMega8* (рис. 2.5).

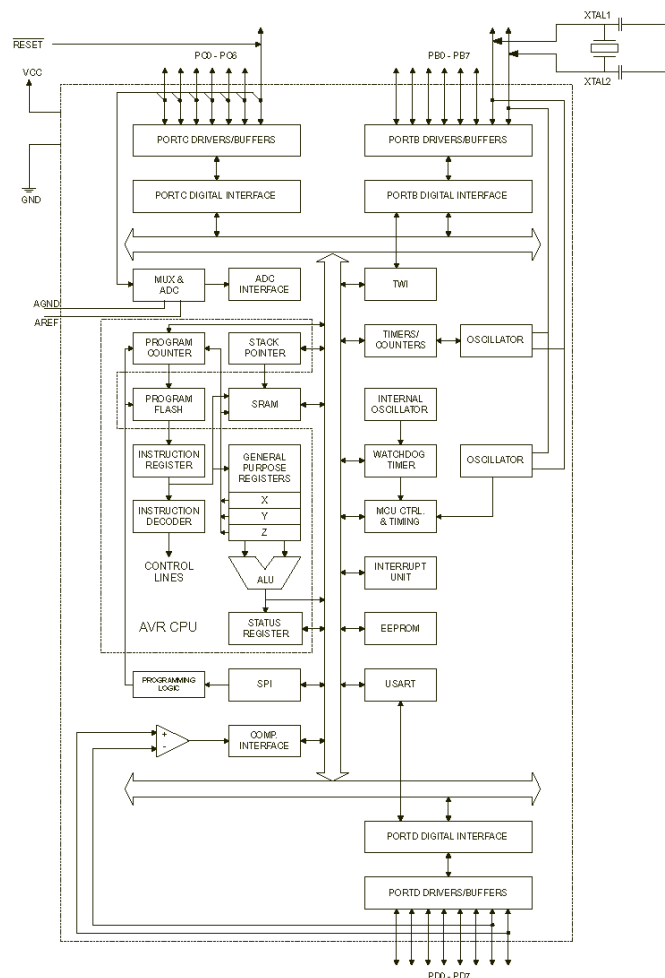


Рис. 2.5. Структурна схема процесора *ATMega8*

## Основні елементи архітектури мікроконтролера ATmega8.

Ядро МК (рис. 2.6), виконує команди програми.

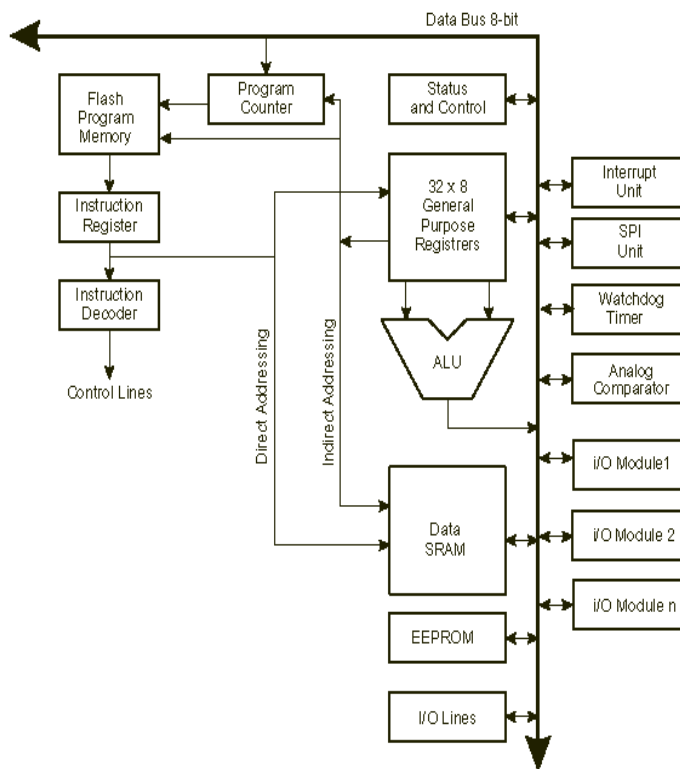


Рис. 2.6. Структурна схема ядра AVR

Ядро включає елементи гарвардської архітектури з незалежними шинами, отже, вибірка інструкцій проводиться незалежно від операцій в арифметично логічному пристрої (АЛП).

Старші 6 8-ми бітових регістрів утворюють 3 регістрові пари, які використовуються для адресації пам'яті - X, Y, Z.

АЛП проводить арифметико-логічні операції між регістрами – без будь-яких обмежень, регістром і константою. Кожна арифметико-логічна операція встановлює прапори в регістрі прапора (рис. 2.7).

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	I	T	H	S	V	N	Z	C	SREG
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Рис. 2.7. Регістр прапора контролера

*I* – прапор дозволу переривання;

*T* – прапор-хранитель біта, що встановлюється і аналізується тільки спеціалізованими інструкціями;

*H* – прапор додаткового перенесення з 3-го розряду в 4-й;

*S* – прапор знаку результату;

*V* – прапор переповнювання;

*N* – прапор негативного результату виконання операції;

*Z* – прапор нуля;

*C* – прапор перенесення.

В АЛП підтримується апаратний стек у внутрішній статичній пам'яті.

Структура регістрового файлу (рис. 2.8.)

	7	0	Addr.	
	R0		0x00	
	R1		0x01	
	R2		0x02	
	...			
	R13		0x0D	
	R14		0x0E	
	R15		0x0F	
General Purpose Working Registers	R16		0x10	
	R17		0x11	
	...			
	R26		0x1A	X-register Low Byte
	R27		0x1B	X-register High Byte
	R28		0x1C	Y-register Low Byte
	R29		0x1D	Y-register High Byte
	R30		0x1E	Z-register Low Byte
	R31		0x1F	Z-register High Byte

Рис. 2.8. Структура регістрового файлу AVR

На структурі видно, що 6 старших регістрів утворюють регістрові пари – індексні регістри (див. рис.2.8). Ядро процесора за допомогою цих регістрів допускають автоінкрементну, автодекрементну адресацію та адресацію з малим зсувом.

Ядро процесора *ATmega* працює в декілька таймерів 0-му та 1-му.

0-й таймер загального призначення має 8-бітовий лічильник з 10-бітовим додатковим дільником частоти. Таймер може генерувати переривання по переповнюванню, або по досягненню певного значення.

1-й таймер має 16-бітовий лічильник. Може бути використаний для генерації сигналів із змінною шин – широко імпульсні модуляції, генерації частоти і визначення часу надходження зовнішніх подій.

2 регістри, які порівнюють значення таймера можуть використовуватися для генерації імпульсів із змінною шин. Вхідний регістр використовується для завантаження значення таймера в момент надходження зовнішньої події.

Таймери можуть тактуватися різними сигналами. 2-й таймер є 8-ми бітовим, він може генерувати частоту і сигнали із змінною шин, генерувати переривання по переповнюванню і досягненню значення.

Аналоговий компаратор використовує 2 вхідні сигнали і та виставляє біт порівняння в значення логічної «1». Компаратор може бути сполученим з таймером для фіксації моменту переходу біта з результатом компаратора в інше значення. Всього мультиплексор може комутувати до 8 входів.

В флеш-пам'яті виділена область завантажувача, яка може бути захищена від стирання, також в ній існує програма, що може використовуватися як завантажувач виконуваних кодів за допомогою будь-якого інтерфейсу МК. Природно внутрішня флеш-пам'ять може програмуватися ззовні програматором в двох режимах – паралельному та послідовному [39].

### **2.2.2. Підсистема вводу-виводу МК**

До підсистеми введення/виведення належать порти контролера, за допомогою яких можна отримувати дані, або видавати їх назовні. У цьому контролері присутні три порти: *B*, *C* та *D*, що в сукупності дає користувачу 23 лінії. Кожен порт містить по три регістри, які конфігурують його роботу, а також зберігають інформацію. До цих регістрів належать *PORTx*, *DDRx* та *PINx*. *PORTx* – регістр даних, що доступний як для запису так і для читання, в який записується інформація для видачі в порт. *DDRx* – конфігураційний регістр, встановлює напрямок роботи порту введення/виведення. *PINx* – регістр вхідної інформації. Кожен порт зсередини має

«підтяжку» через резистор до живлення. Оскільки на кристалі знаходиться ще й периферія, то усі порти мультиплексовані з портами периферії. І якщо потрібно використати певну периферію, тоді використовується відповідний конфігураційний регістр. При цьому порт стає не доступний для звичайного використання [39].

### 2.2.3. Вузол АЦП МК

Згідно з завданням, потрібно використовувати вузол АЦП. У даному МК він вбудований і має 6 входів (рис. 2.10).

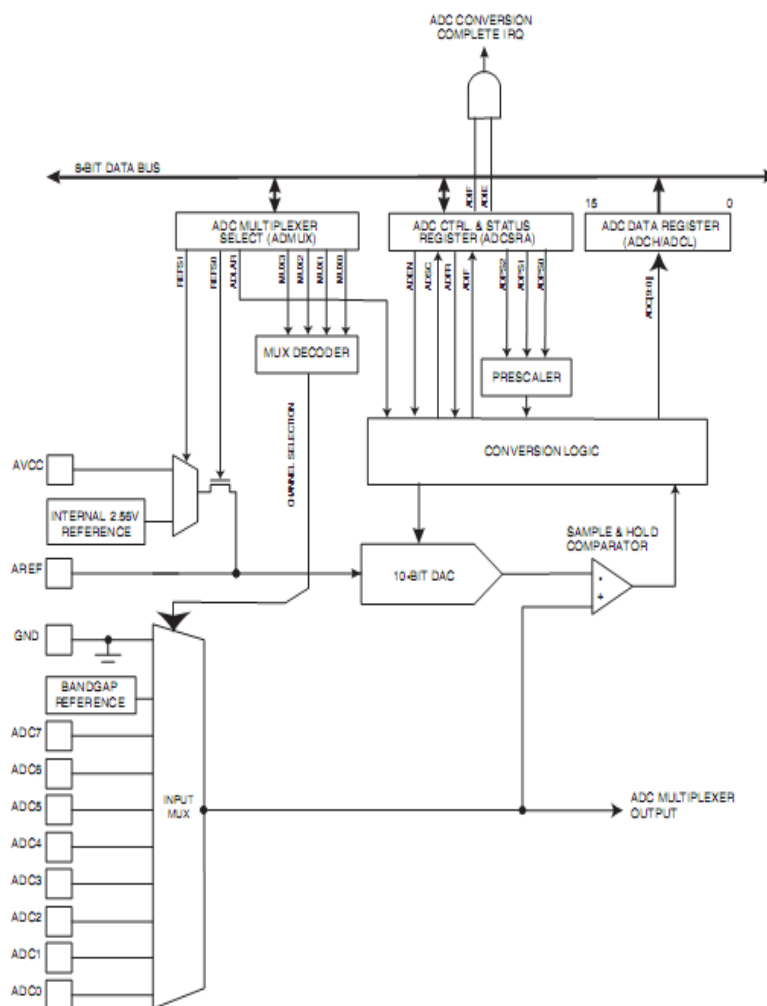


Рис. 2.10. Структурна схема вбудованого аналогово-цифрового перетворювача

Вузол АЦП є 10-ти розрядним, він може працювати як з внутрішнім джерелом опорної напруги номіналом 2.56 В від джерела живлення, оскільки лінія зв'язку комутується всередині кристалу, так і з зовнішнім джерелом живлення. Для оптимального результату частота дискретизації має бути у межах від 50 до 200 кГц – ця величина задається в керуючих регістрах. Для того, щоб вчитати значення

потрібно спочатку вчитати молодший регістр, при цьому весь регістр результату блокується від запису. Потім вже віднімається старший регістр. Після цього блокування на запис знімається.

Найперше, що потрібно зробити, це сконфігурувати АЦП для роботи у потрібному робочому режимі. Для цього використовуються два регістри – *ADMUX* (рис. 2.11) та *ADCSRA* (рис. 2.12) [37]. Значення бітів цих регістрів вказано в таблиці 2.4 та таблиці 2.5. Результат зберігається у регістровій парі *ADCH:ADCL*.

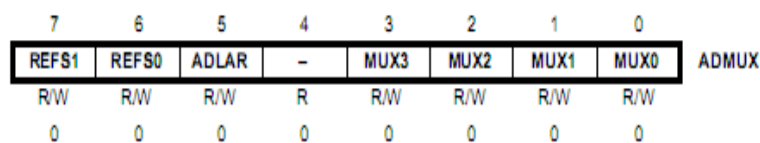


Рис. 2.11. Структура регістра *ADMUX*

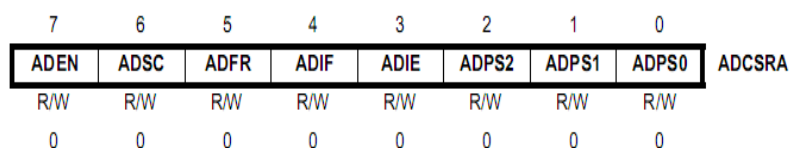


Рис. 2.12. Структура регістра *ADCSRA*

Таблиця 2.4

#### Значення бітів регістра *ADCSRA*

Назва поля, біти	Призначення і комбінації значення
<i>ADEN</i> [7]	Дозвіл роботи АЦП «1» робота дозволена, «0» робота заборонена
<i>ADSC</i> [6]	Вибір старту перетворення. Залежить від режиму роботи
<i>ADFR</i> [5]	Вільний режим роботи. «1» дозвіл вільного режиму, «0» заборона вільного режиму
<i>ADIF</i> [4]	Біт переривання закінчення перетворення, встановлюється вузлом АЦП «1» перетворення закінчено, «0» перетворення триває

Назва поля, біти	Призначення і комбінації значення
<i>ADIE</i> [3]	Ввімкнення дозволу формування переривання після закінчення перетворення «1» переривання дозволено, «0» переривання не буде формуватися
<i>ADPS2:0</i> [2..0]	Вибір значення подільника головної частоти для визначення частоти дискретизації перетворення 000 2 001 2 010 4 011 8 100 16 101 32 110 64 111 128

Таблиця 2.5

Значення бітів регістра *ADMUX*

Назва поля, біти	Призначення і комбінації значень
<i>REFS1:0</i> [7..6]	Вибір опорного джерела. 0 0 внутрішнє джерело вимкнено, значення береться з відповідної ніжки 0 1 приєднання до ніжки живлення 1 0 зарезервовано 1 1 внутрішнє джерело номіналом 2,56В
<i>ADLAR</i> [5]	Вказування вирівнювання результату в регістровій парі <i>ADCH:ADCL</i> . Значення «1» встановлює вирівнювання по лівій границі, «0» по правій границі
<i>MUX3:0</i> [3..0]	Вибір вхідного каналу для сигналу. 0000 <i>ADC0</i> 0001 <i>ADC1</i> 0010 <i>ADC2</i> 0011 <i>ADC3</i> 0100 <i>ADC4</i> 0101 <i>ADC5</i> 0110 <i>ADC6</i> 0111 <i>ADC7</i> 1110 1.3В 1111 0В



Для обрахунку значень конвертованих рівнів використовується формула

$$ADC = (V_{in} * 1024) / V_{ref},$$

де  $V_{in}$  – вхідний сигнал,  $B$ ;

$V_{ref}$  – значення опорної напруги,  $B$ .

Для запуску формується сигнал  $ADSC$ , після встановлення його у високий рівень обновляється значення вхідного сигналу та значення опорного джерела. Після проходження 10 тактів, а це тривалість одного перетворення, формується сигнал  $ADIF$  – сигнал переривання закінчення обробки. В регістри  $ADCH:ADCL$  записується результат [39].

#### **2.2.4. Схема скидання МК**

Одразу після включення МК, при досягненні сигналом живлення визначеного рівня напруги, формується сигнал внутрішнього скиду. Після цього вже подається зовнішній сигнал скиду, а вже далі, після проходження визначеного проміжку часу, внутрішній сигнал скиду знімається і МК починає працювати у нормальному режимі [1].

Зовнішній сигнал скиду для МК формується низьким рівнем сигналу. Тривалість імпульсу скидання чітко визначена та прописана в документації, відповідно значення, що є меншим за значення рекомендованого, може не сприйнятися і сигнал скиду не сформується. Коли на вході скиду детектується зниження напруги до рівня скиду, тоді генерується сигнал внутрішнього скидання. Потім, при піднятті рівня сигналу скиду до рівня логічної одиниці, проходить визначений проміжок часу. Після цього внутрішньосхемний скид знімається, далі і МК переходить у звичний режим роботи.

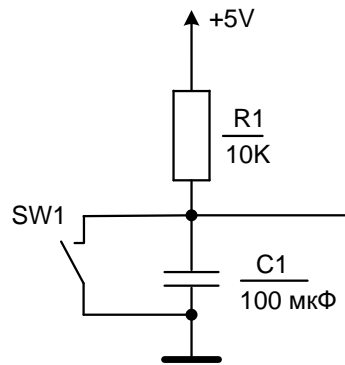


Рис 2.13. Вузол скидання МК

Як вже зазначалось вище, вузол скидання призначений для формування сигналу скиду при включенні, а також за необхідністю, під час роботи. Для цього використовується схема (див. рис. 2.13). Ця схема складається з конденсатора, резистора та тумблера або кнопки включення. При першому включенні схеми потрібен певний час, щоб здійснити заряд конденсатора. Цей час заряду конденсатора визначається за формулою (2.4.)

$$T = R1 * C1 = 10 * 10^3 \text{ Ом} * 100 * 10^{-6} \text{ Ф} = 10 \text{ мс}$$

де  $R$  – значення величини резистора  $R1$ , Ом;

$C$  – значення величини конденсатора  $C1$ , Ф.

На протязі цього часу формується внутрішній сигнал скидання.

Якщо ж буде потрібно скинути контролер під час роботи, то потрібно натиснути кнопку  $SW1$ , тоді напруга через резистор піде на землю, а на вхід скиду відповідно піде логічний «0». При нормальній роботі схеми на вхід через резистор протікає напруга джерела живлення.

### 2.3. Розробка електричної принципової схеми для мікропроцесорної метеостанції

На базі структурної схеми автоматичної системи, призначеної для збору та цифрової обробки метеорологічної інформації, що була розроблена в першому розділі – рис. 1.10, та на основі обраної елементної бази була розроблена електрична функціональна схема приладу (рис. 2.14).

Працює ця схема таким чином. Три датчики, які показані на схемі, як *BP1*, *BK1*, та *BI*, проводять вимірювання трьох фізичних величин, що характеризують параметри навколишнього середовища, таких як відносна вологість, атмосферний тиск та температура. Вихідні сигнали, що надходять з датчика вологості та тиску – аналогові величини, тому вони подаються на входи АЦП МК, на канали *ADC0* та *ADC2* відповідно. Вихідний сигнал з датчика температури – цифровий, тому він подається безпосередньо на звичайний порт вводу-виводу МК – порт *PD6*.

Вимірювання напруги батареї проводиться також за допомогою АЦП МК: канал *ADC1*. Модуль фіксованої опорної напруги, який вбудований в МК, конфігурується на доставку позитивної стабільної напруги +5В до АЦП для точного перетворення. Перед АЦП знаходиться резисторний дільник – *R3* і *R4*, чий призначений для того, щоб знизити вхідну напругу АЦП нижче за значення опорної напруги [18]. Стабілітрон *VD1* в ланцюзі дільника, що включений паралельно *R4*, встановлений з метою захисту входу МК при підвищенні напруги понад 5.1В, оскільки будь-яке випадкове підвищення вхідної напруги більше визначеного критичного рівня може назавжди вивести з ладу порт МК.

Після цього виміряні дані виводяться на дисплей *DD2* та на *RS232* порт ЦЕОМ, який показано на схемі розйомом *XS1*. Підстроєчний резистор *R5* служить для регулювання контрастності дисплею. Сигнал між мікроконтролером *ATmega8* і ЦЕОМ передається через інтерфейс *RS-232*, та здійснюється за допомогою перетворювача рівнів *MAX232 – DA1*.

Електричне живлення цієї схеми здійснюється через батарею *GB1*, що має напругу 9В. Напруга живлення величиною 5В, яка необхідна для живлення МК та датчиків, забезпечується за допомогою мікросхеми стабілізатора напруги *78L05 – DA2*.

Вхід *RESET* МК за допомогою резистора *R1* підключено до живлення, для того щоб уникнути випадкових перезавантажень мікроконтролера. На вхід *AVCC* подається живлення для АЦП. Також, живлення на цьому вході буде використовуватись в якості опорного живлення АЦП, тому вхід *AREF* підключено через конденсатор *C13* до землі. Це покращує якість опорної напруги АЦП.

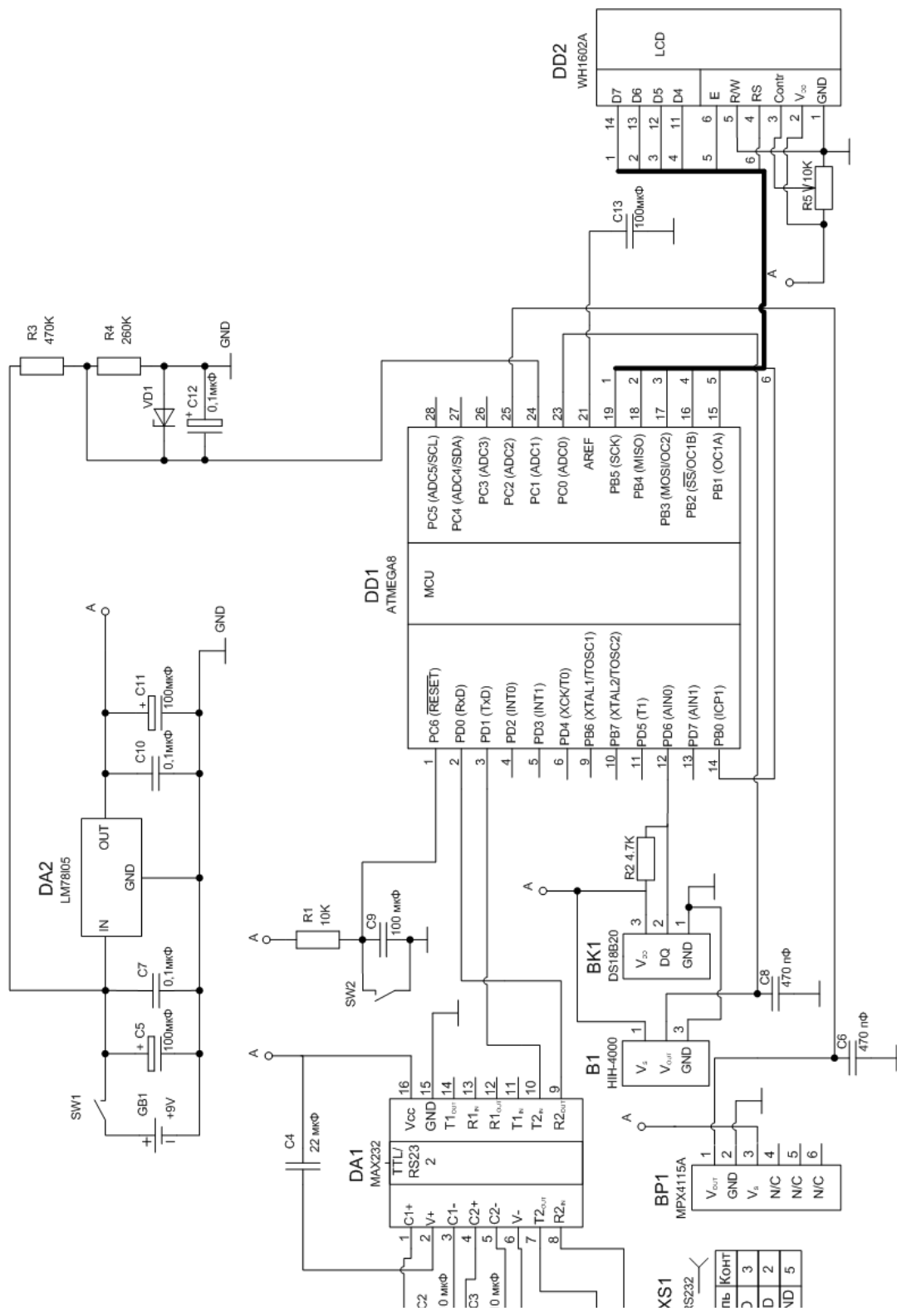


Рис 2.14. Схема електрична принципова системи збору та цифрової обробки метеорологічної інформації

Конденсатори  $C6$  та  $C8$  призначені для фільтрації високочастотної складової сигналу датчиків. Майже всі конденсатори у цій схемі призначені для фільтрації завад сигналу.

### 2.3.1. Електричні розрахунки вузлів електричної принципової схеми

Розрахуємо номінали резисторів, призначених для дільника напруги  $R3/R4$  [27]. Максимальна вхідна напруга для АЦП становить 5В. Таким чином, розраховуємо:

$$V_{Battery}/V_{ADC} = R3/R4;$$

$$V_{Battery} = 9В;$$

$$9/5 = R3/R4.$$

Оберемо  $R3$  номіналом 470 КОм. Тоді, виходячи з формули,  $R4$  буде дорівнювати 260 КОм.

З документації на мікросхему  $MAX232$  визначаємо номінали конденсаторів  $C1$  та  $C4$ . Отже, конденсатори:

$$C1 = C4 = 22\text{мкФ};$$

$$C2 = C3 = 10\text{мкФ}.$$

З документації на мікросхему  $78L05$  визначаємо номінали конденсаторів  $C5$ ,  $C7$ ,  $C10$ , та  $C11$ . Отже, конденсатори:

$$C5 = C11 = 100\text{мкФ};$$

$$C7 = C10 = 0,1\text{мкФ}.$$

В якості стабілітрона  $VD1$  оберемо  $1N4733A$ , його технічні характеристики (табл. 2.6)

Таблиця 2.6  
Технічні характеристики стабілітрона  $1N4733A$

Потужність розсіювання, Вт	1
Мінімальна напруга стабілізації, В	4.8
Номінальна напруга стабілізації, В	5.1
Максимальна напруга стабілізації, В	5.3
Статичний опір $R_{ст.}$ , Ом	7.0
при струмі $I_{ст.}$ , мА	49
Максимальний струм стабілізації $I_{ст.макс.}$ , мА	178
Робоча температура, $^{\circ}C$	-55...200

## **2.4. Розробка програмної частини системи**

### **2.4.1. Вибір програмних засобів для реалізації задачі**

Для написання програмної частини було обране інтегроване середовище розробки *AVR Studio* та мова програмування *C*. Особливістю інтегрованого середовища *AVR Studio* є те, що вона містить асемблер та симулятор, що дозволяє відстежити виконання програми. Поточна версія підтримує всі МК *AVR* і засоби розробки, що випускаються на сьогоднішній день. *AVR Studio* містить в собі наступні складові: менеджер проєктів, редактор вихідного коду, інструменти віртуальної симуляції, інструменти внутрисхемного налагодження. Також *AVR Studio* дозволяє писати програми на асемблері або на *C / C++*. Мова програмування *C* була обрана тому, що вона містить ряд значних переваг над мовою асемблера, серед яких – скорочений час проєктування, більш простий пошук помилок, а також легкість повторного застосування [34].

### **2.4.2. Опис алгоритму роботи програми МК**

В узагальненому вигляді схема (рис. 2.15), показує роботу пристрою.

Алгоритм працює наступним чином. При включенні пристрою виконується ініціалізація дисплею, інтерфейсу *UART*, здійснюється налаштування та запуск таймера, ініціалізація та налаштування на необхідний режим роботи АЦП. Також при включення відбувається дозвіл переривань, слід пам'ятати, що за замовчуванням усі переривання вимкнені.

Після проходження ініціалізації програма переходить у головний цикл, де відбувається зациклення, так званий вічний цикл. Для роботи пристрою нам потрібно, щоб алгоритм виконувався безперервно, а цей процес реалізовується саме за допомогою вічного циклу. Для організації вічного циклу використовується конструкція *while(1) { }*.

Під час виконання цього циклу відбувається зчитування показників датчиків, далі іде перетворення вимірюваних величин, вивід їх на дисплей та одночасне занесення в буферну пам'ять. Робота з інтерфейсом *UART* відбувається за допомогою переривань за таймером – 100 разів за секунду програма здійснює опитування портів

вводу/виводу, що використовуються для підключення до ЦЕОМ на рахунок нових команд. Якщо ці команди отримані, то у програмі встановлюються спеціальні прапори, призначені для подальшої їх обробки. В основному циклі програми ці прапори аналізуються та виконуються пов'язані з ними дії. Так, при надходженні команди «show», дані вимірювань з МК будуть передані до ЦЕОМ, а за допомогою команди «settime» можливо встановити точний час. Повний текст програми наведено у додатку А.

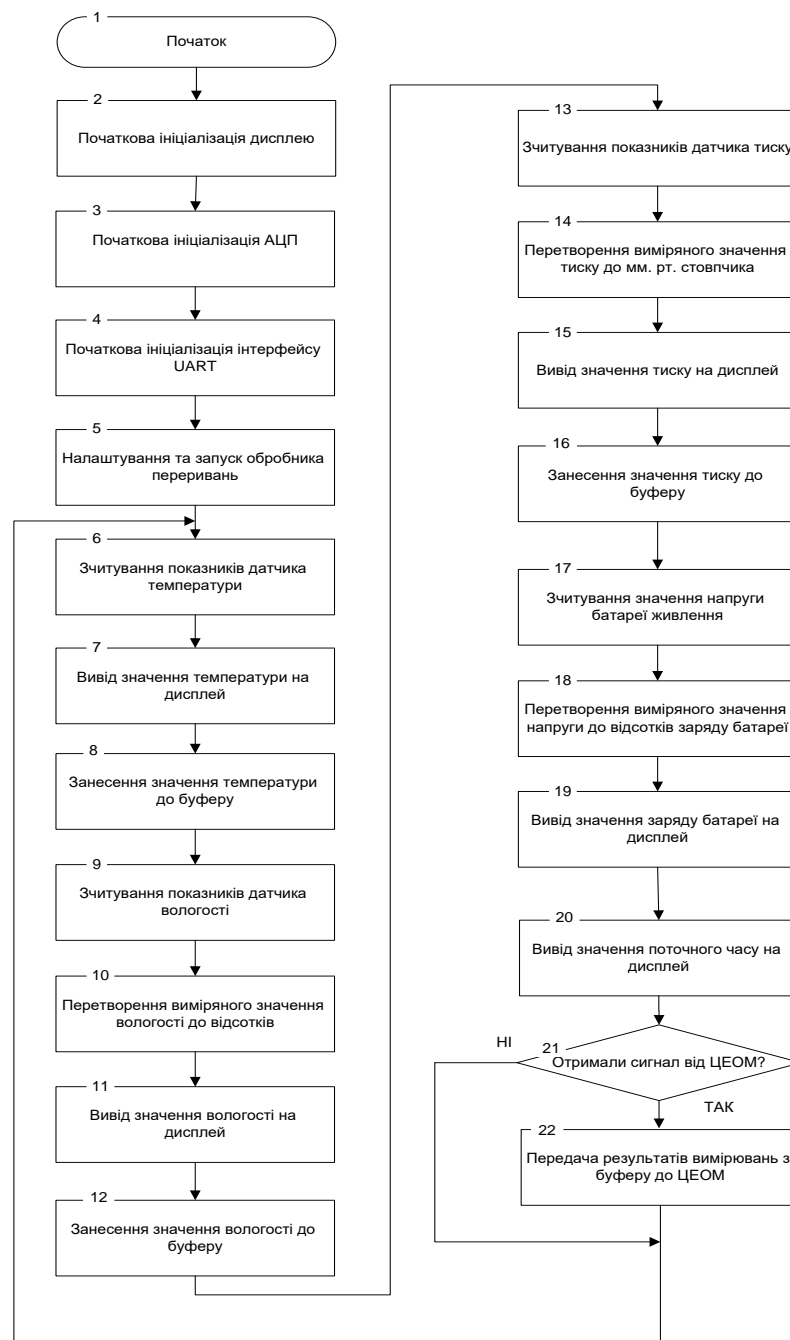


Рис. 2.15. Узагальнена схема алгоритму програми МК

## **Висновки за розділом**

У другому розділі дипломної роботи було описано всі етапи розробки автоматичної системи збору та цифрової обробки метеорологічної інформації з використанням мікроконтролерного керування. Окремо було описано програмне забезпечення, для керування цією системою, а також алгоритм її роботи, програмне забезпечення та мову програмування, що було використано для її розробки.

У процесі розробки автоматичної системи були здійснені важливі вирішення, пов'язані з вибором ключових компонентів, що визначають її функціональність та ефективність. Однією з найважливіших аспектів стала обрана мікроконтролерна платформа, яка визначила базові характеристики та можливості системи. Вивчення та аналіз доступних варіантів дозволили обрати оптимальний мікроконтролер, забезпечуючи необхідну швидкодію та надійність роботи.

Паралельно з вибором мікроконтролера, були вирішені питання щодо вибору датчиків, які забезпечують системі необхідну інформацію для виконання поставлених завдань. Враховуючи специфіку завдань та середовища, в якому система буде використовуватися, були вибрані відповідні типи датчиків, забезпечуючи точність та стабільність вимірювань.

Додатково, в процесі розробки була вивчена та обрана оптимальна архітектура системи, що визначає організацію компонентів та їх взаємодію. Це рішення включало в себе аналіз можливих варіантів і розгляд вимог до системи з точки зору її ефективності, масштабованості та зручності обслуговування. Також в другому розділі було описано функції основних блоків цієї системи та представлено програмні особливості їх роботи.



## РОЗДІЛ 3

### АНАЛІЗ БЕЗДРОТОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ, ЯК ЗАСОБУ ПЕРЕДАЧІ МЕТЕОРОЛОГІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

#### 3.1. Технології бездротової передачі інформації

##### 3.1.1. Загальний огляд

У попередніх розділах була розроблена автоматична система збору та цифрової обробки метеорологічної інформації, її апаратна та програмна складові. Тепер перед нами постає питання передачі зібраної цією автоматичною системою інформації до ЦЕОМ у якнайшвидший строк. Крім того, враховуючи вимоги до цієї системи, необхідно врахувати можливість об'єднання подібних систем в єдину мережу. Враховуючи рівень розвитку сучасних технологій, доцільно буде використати один з бездротових методів передачі інформації. Для того, щоб визначити спосіб, найбільш доцільний для ефективної роботи наної системи, необхідно розглянути існуючі на сьогоднішній день види бездротових технологій.

На сьогоднішній день найбільш поширеними є мережеві технології *WiMAX*, *Wi-Fi*, *Bluetooth*, *ZigBee* та похідні від них.

Сучасні технології дозволяють отримати бездротовий доступ до глобальних *WAN* – *Wide-Area Network*, локальних *LAN* – *Local Area Network*, та персональних комп'ютерних мереж *PAN* – *Personal Area Network*. Зокрема, доступ до глобальних комп'ютерних мереж здійснюється за допомогою стільникового телефонного та супутникового зв'язку. Для локальних і персональних комп'ютерних мереж створюються пристрої бездротового зв'язку на базі ряду стандартів і специфікацій. Наприклад, в наш час найбільш поширеними є наступні стандарти і специфікації: *IEEE 802.11*, *IEEE 802.11b*, *HIPERLAN*, *HiperLAN/2*, *Bluetooth* та *HOMERF*. Переважна більшість методів обміну інформацією, що використовується в бездротових комп'ютерних мережах, побудована на радіочастотних технологіях – методах розмитого спектру, та технологіях, що засновані на використанні

інфрачервоного випромінювання. Кожна з цих технологій має свої переваги та недоліки.

В наш час бездротові комп'ютерні мережі, такі як *LAN* і *PAN*, знаходять широке застосування в таких галузях, як охорона здоров'я, роздрібна торгівля, фінанси, виробництво, складування продукції і т. д. Тобто там, де працівникам доводиться частіше за все переміщатися з місця на місце, та при цьому їм у край необхідності безперервно передавати та отримувати інформацію. У багатьох сферах діяльності бездротовий зв'язок не просто один з варіантів передачі інформації, а часто єдиний спосіб організації комп'ютерної мережі взагалі. Крім того, дана технологія надає канал в звичайну провідну комп'ютерну мережу, відкриваючи доступ до її ресурсів.

До основних переваг бездротових комп'ютерних мереж слід віднести легкість установки та управління, гнучкість її конфігурації, невисоку вартість володіння, масштабованість та належний захист інформації.

Устаткування для створення бездротових комп'ютерних мереж *LAN* зазвичай включає адаптери для портативних та настільних комп'ютерів, точки доступу, які виступають в якості «шлюзів» бездротової комп'ютерної мережі і відповідне програмне забезпечення. У найпростішому випадку бездротова комп'ютерна мережа може складатися з декількох ПК, що мають бездротові мережеві адаптери, та які спільно використовують мережеві ресурси – файли, принтер, та ін. Така конфігурація називається одноранговою, або рівноправною комп'ютерною мережею. Така структура доцільна, наприклад, у разі короткострокової співпраці між членами невеликої групи, що працюють над спільним проектом.

Таку комп'ютерну мережу можна розширити та охопити більший простір, використовуючи мережеві точки доступу, що посилають і приймають сигнали на клієнтських ПК бездротової мережі. Дальність дії сигналів при цьому змінюється в залежності, наприклад, від наявності стін та перекриттів. та складає близько 100 м в приміщенні і до 300 м на відкритому просторі.

По мірв віддалення клієнтського ПК від точки доступу швидкість з'єднання відповідно зменшується. Кожна точка доступу зоною свого покриття створює так званий мікроосередок, або соту. Клієнтські ПК бездротової комп'ютерної мережі

можуть переміщатися по цих сотах, зони покриття яких перекриваються – це дозволяє здійснити роумінг для абонентів мережі [21].

### 3.1.2. Стандарти і специфікації

На сьогоднішній день існує п'ять поширених технологій бездротової передачі даних поза приміщеннями:

1. Радіорелейні лінії передачі. Це системи, що побудовані на основі вузькосмугових технологій і призначені для передачі даних з великими швидкостями, до 155 Мбіт/с на високій частоті. Працюють за синхронною технологією. Для використання цієї технології необхідно забезпечити пряму видимість між ретрансляторами сигналу.

2. Радіо X.25. Ця технологія, як і радіорелейна, теж заснована на вузькосмуговій технології передачі даних. Але на відміну від неї, вона працює на більш низькій частоті порядку 400-500 МГц, тому в ній пред'являються менш жорсткі вимоги до прямої видимості між приймаючими та передаючими станціями. Ця технологія передбачає передачу даних по методу комутації пакетів.

3. Пристрої *CDPD – Cellular Digital Packet Data*. Це бездротові пристрої, що при передачі кодують дані за широкосмуговою технологією та працюють в асинхронному режимі. Вони забезпечують порівняно невисоку швидкість передачу інформації до 19200 *bps*.

4. Широкосмугові радіомодеми. Ці пристрої працюють по методу синхронного зв'язку на частотах порядку 2,4-5,7 ГГц, забезпечуючи при цьому високу швидкість передачі даних до 2 Мбіт/с.

5. Бездротові комп'ютерні мережі *Ethernet*. Ці засоби зв'язку працюють за широкосмуговою технологією і передають дані в асинхронному режимі. Здатні забезпечувати достатньо високі швидкості обміну даними до 4 Мбіт/с при економічному витрачанні смуги пропускання, що властиво засобам асинхронної передачі даних.

На початку 90-х років спеціалізовані бездротові ЛВС працюють у частотному діапазоні *ISM Industrial-Scientific-Medical* – від 900 МГц до 2,4 ГГц, та призначалися для потреб промисловості, науки та медицини. Група по розробці специфікації для

бездротових ЛВС – *Wireless LAN Network Standards Working Group*, була створена в 1990 році. Вона виробила в 1997 році промисловий стандарт *IEEE 802.11*, який містив необхідну інформацію для організації бездротових ЛВС зі швидкістю передачі даних 1-2 Мбіт/с. Ця специфікація передбачала смугу 83 МГц в діапазоні 2,4-2,4835 ГГц *ISM*.

Із семи рівнів моделі *OSI – Open System Interconnect* специфікація 802.11 регламентувала два рівні мережі: фізичний рівень *PHY* та управління доступом до середовища передачі даних, тобто нижній підрівень канального рівня *MAC, Media Access Control*. На фізичному рівні визначаються методи модуляції і характеристики сигналів для передачі даних. В цей стандарт було закладено три різні методи передачі даних: два в радіочастотному і один в інфрачервоному діапазоні хвиль. У останньому випадку були задіяні довжини хвиль в діапазоні порядку 850-950 нм.

Одн із способів підвищення ефективності передачі інформації за допомогою модульованих сигналів через канал з сильними лінійними спотвореннями – розширення спектру, що приводить до збільшення бази сигналу. В сучасних системах зв'язку для цієї мети використовуються три методи:

1. Псевдовипадкова перебудова робочої частоти (ППРЧ), від англ. *FHSS – Frequency Hopping Spectrum Spreading*. Суть цього методу полягає в періодичній стрибкоподібній зміні несучої частоти сигналу по деякому алгоритму, який відомий як приймачу, так і передавачу. Основна перевага методу полягає в простоті його реалізації. Цей метод використовується в *Bluetooth*.

2. Розширення спектру методом прямої послідовності (ПРС), від англ. *DSSS – Direct Sequence Spectrum Spreading*. Данний метод по ефективності перевершує ППРЧ, але він більш складний в реалізації. Суть цього методу полягає в підвищенні тактової частоти модуляції сигналу, при цьому кожному символу переданого повідомлення ставиться у відповідність деяка достатньо довга псевдовипадкова послідовність (ПСП). Метод використовується в таких системах передачі даних, як *CDMA*.

3. Розширення спектру методом лінійної частотної модуляції (ЛЧМ), від англ. *CSS – Chirp Spread Spectrum*. Суть цього методу полягає в перебудові несучої частоти по лінійному закону. Метод використовується в радіолокації та мережі *NANONET*.

Базовими методами для передачі сигналів у радіочастотному діапазоні стали технології розмитого спектру – прямої послідовності *DSSS* та стрибаючої частоти *FHSS*. Технологія прямої послідовності *DSSS*, *Direct Sequence Spread Spectrum*, та стрибаючої частоти *FHSS*, *Frequency Hopping Spread Spectrum*, які забезпечують швидкості передачі даних 2 і 1 Мбіт/с відповідно при потужності пристрою передачі 100 мВт.

Технологія розмитого спектру відома вже досить давно, ще з часів другої світової війни. Вона полягає в тому, що сигнал, що передається, «розмазується» по певному частотному діапазону. Само словосполучення «розмитий спектр» означає, що для кодування сигналу використовується більш широкий частотний діапазон, ніж той, що потрібен для передачі тільки корисної інформації.

Ця технологія стала поширеною завдяки своїй високій завадостійкості.

При роботі по методу *FHSS* частотний діапазон, на якому здійснюється передача, розбивається на певну кількість каналів. Наприклад, в діапазоні 900 МГц розбивається на піддіапазони шириною 500 кГц, а в діапазоні 2,4 ГГц – 1 МГц. Станція, що здійснює передачу, постійно змінює частотний діапазон, в якому відбувається передача сигналу. Отже, одна частина інформації передається на одній частоті, інша на другій, третя – на наступній і т.д. Конкретна послідовність частот, що використовується, називається послідовністю стрибків і повинна бути синхронізована між станціями, що здійснюють і прийом, і передачу, інакше вони не зможуть спілкуватися між собою. Якщо невідома потрібна послідовність і частоти перемикання піддіапазонів, розшифрувати такий сигнал практично неможливо. Цей стандарт визначає 79 каналів і 78 різних частот, що змінюються стрибкоподібно.

Технологія прямої послідовності *DSSS* передбачає модуляцію початкових даних за допомогою широкосмугового сигналу. Оскільки приймачу відома модель модулюючого сигналу, то він легко може відновити початковий сигнал. Після кожного корисного біта, що несе інформацію, додається якесь число надмірних розрядів, так званих «*chip*». Завдяки цьому і забезпечується відновлення початкових даних без повторної передачі, якщо один або навіть декілька розрядів виявляються спотвореними або навіть втраченими при їх передачі. Зрозуміло, що при генерації та

кодуванні надмірних розрядів ефективна частота отриманого сигналу зростає, а це означає, що для його передачі потрібний ширший діапазон, ніж для передачі «чистої» інформації, внаслідок чого відбувається «розтягування» спектру.

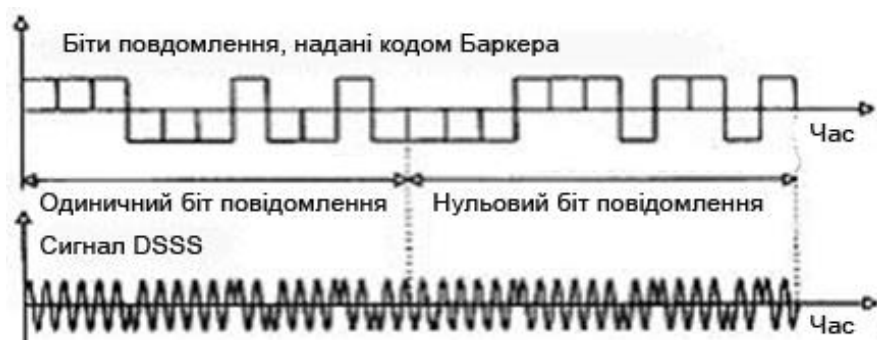


Рис. 3.1. Прямі або інверсні послідовності Баркера

За методом *DSSS* кожен інформаційний символ представляється 11-розрядним кодом Баркера, що ає вигляд 11100010010. Для передачі одиничного і нульового символів повідомленням використовується відповідно,пряма і інверсна послідовності. Для модуляції несучого коливання в цьому випадку використовуються вже не початкові символи повідомлення, а прямі або інверсні послідовності Баркера (див. рис. 3.1). Там ми можемо побачити, що при переході до *DSSS* відбувається «розмазування» потужності сигналів по смузі частот.

Зазначимо, що системи, що побудовані на базі *DHSS* і *FHSS*, не можуть взаємодіяти одна з одною, зважаючи на принципову відмінність застосованих в них методів передачі. Передача даних в інфрачервоному діапазоні довжин хвиль характеризується, по-перше, великими швидкостями до 155 Мбіт/с, а по-друге, високою стійкістю до всіляких завад. Імпульсна модуляція інфрачервоних сигналів здійснюється в частотному діапазоні від 300 ГГц до 428 ТГц при потужності передаючого пристрою до 2 Вт. Недоліками, що істотно обмежують застосування даної технології, є малий радіус дії і дуже жорстка вимога прямої видимості між пристроями передачі і прийому.

На *MAC*-рівні стандарту *IEEE 802.11* описані методи доступу до середовища, формат кадрів, принципи адресації, а також множинний доступ до каналу зв'язку. На відміну від добре відомого по *Ethernet (IEEE 802.3)* протоколу *CSMA/CD (Carrier*

*Sense Multiple Access with Collision Detection*), в ньому визначений інший – *CSMA/CA* (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*), множинний доступ з контролем несучої та ухиленням від зіткнень. Потужність випромінювання сигналів була обмежена 1 Вт для США і 10 мВт/1 МГц для Європи.

Зрозуміло, що при швидкостях передачі, що становить порядку 1-2 Мбіт/с бездротові технології набагато поступаються традиційним комп'ютерним дротяним мережам. Саме тому в 1998 році, з'явилася нова версія стандарту *IEEE 802.11b*. Він характеризувався тим, що на фізичному рівні в ньому визначався тільки один метод передачі даних – *DSSS*. Основним же вдосконаленням цього стандарту стало підвищення швидкості передачі даних до 5,5 і навіть до 11 Мбіт/с.

Велику роль в просуванні нового стандарту передачі даних зіграла організація, що мала назву Альянс сумісності бездротових мереж *Ethernet (Wireless Ethernet Compatibility Alliance, WECA)*, яка була створена в 1999 році. Серед членів організації *WECA* були не тільки комунікаційні компанії, такі як *3Com, Aironet, Intersil, Lucent Technologies, Nokia, Symbol Technology, Alantro, Breezeway, Cabletron, Intermec, No Wires Needed, Sharewave, Wayport, Zoom*, але і найбільші фірми-виробники комп'ютерів *Apple, Compaq, Dell*, та *IBM*.

Відносно новою версією стандарту передачі для базової смуги частот 5 ГГц є *IEEE 802.11a*, що описує інший метод технології розмитого спектру – *OFDM*, або *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*. В цьому стандарті передбачено, що імпульси несучої частоти мають прямокутну форму, а швидкість передачі даних може варіюватися від 6 до 54 Мбіт/с. До основних перевагами даного методу можна віднести пом'якшення вузькосмугової інтерференції сигналів і високу стійкість до завад. Така технологія використовується, зокрема, в *ADSL*-системах, але ніколи не застосовувалася для бездротового зв'язку.

Оскільки вихід остаточної версії стандарту *IEEE 802.11* був невиправдано затягнутий, а ринок вимагав негайного реагування, то з'явилися технології, запропоновані різними інститутами, альянсами та організаціями. Але велику кількість несумісних між собою стандартів уповільнює розвиток індустрії. Для подолання цієї проблеми в наш час робоча група *IEEE 802.11a* почала

співробітництво з фахівцями європейського інституту телекомунікаційних стандартів *ETSI (European Telecommunications Standards Institute)* для пошуків сумісності із стандартом *HiperLAN/2*, який був створений в рамках проєкту *BRAN (Broadband Radio Access Network)*. Принаймні одна загальна риса у обох перспективних стандартів є: в обох з них фізичний рівень *OSI* базується на технології *OFDM* [21].

## **3.2. Технологія *Wi-Fi***

### **3.2.1. Загальний огляд технології *Wi-Fi***

*Wi-Fi* був створений в 1991 році *NCR Corporation/AT&T* в Нідерландах, *WiFi* — це торгова марка, що належить *Wi-Fi Alliance*. Загальноживана назва для стандарту бездротового радіо зв'язку передачі даних, який об'єднав декілька протоколів, та ґрунтується на сімействі стандартів *IEEE 802.11*. *IEEE*, або *Institute of Electrical and Electronic Engineers* – міжнародна організація, яка займається розробкою стандартів у сфері електронних технологій. Найвідомішим і найпоширенішим на сьогодні серед протоколів є *IEEE 802.11g*, що визначає функціонування бездротових комп'ютерних мереж.

Використання *Wireless LAN* рекомендувалась там, де розгортання кабельної системи було неможливо, або економічно недоцільно. На сьогоднішній день в багатьох організаціях використовується *Wi-Fi*, оскільки при визначених умовах швидкість роботи мережі вже перевищує 100 Мбіт/сек. При цьому користувачі можуть переміщатись між точками доступу по території покриття мережі *Wi-Fi*.

Мобільні пристрої, такі як ноутбуки, смартфони, планшети оснащені клієнтськими *Wi-Fi* пристроями прийому-передаючі, можуть підключатися до локальної комп'ютерної мережі і отримувати доступ в Інтернет через точки доступу.

Зазвичай схема *Wi-Fi* комп'ютерної мережі містить не менш однієї точки доступу та не менш одного клієнта, та має здатність легко масштабується.

Також можливо підключення двох клієнтів в режимі точка-точка, або *Ad-hoc*, коли не використовується точка доступу, а клієнти з'єднуються за участю мережевих адаптерів безпосередньо. Точка доступу передає свій ідентифікатор мережі *SSID* за допомогою спеціальних сигнальних пакетів на швидкості 0,1 Мбіт/с кожні 100 мс.



Тому 0,1 Мбіт/с – найменша швидкість передачі даних для мережі *Wi-Fi*. Знаючи *SSID* мережі, клієнт може виявити, чи можливо здійснити підключення до цієї точки доступу. При потраплянні в зону дії двох точок доступу з ідентичними *SSID*, приймач може вибирати між ними на основі даних про рівень сигналу. Стандарт *Wi-Fi* дає клієнту повну свободу при виборі критеріїв для з'єднання [15].

Але стандарт не описує всі аспекти побудови безпроводних локальних комп'ютерних мереж *Wi-Fi*. Через це кожен виробник устаткування вирішує цю задачу по-своєму, застосовуючи ті підходи, які він вважає за оптимальні з того або іншого погляду. Тому виникає необхідність класифікації способів побудови безпроводних локальних комп'ютерних мереж.

За способом об'єднання точок доступу в єдину систему можна виділити:

1. Автономні точки доступу. Називаються також самостійні, децентралізовані, розумні.
2. Точки доступу, що працюють під управлінням контролера. Називаються також централізованими.
3. Безконтрольні, але не автономні. Мають керування без контролера.

За способом організації та управління радіоканалами можна виділити безпроводні наступні типи локальних мереж:

1. Мережі із статичними налаштуваннями радіоканалів.
2. Мережі з динамічними налаштуваннями радіоканалів.
3. Мережі з багат шаровою структурою радіоканалів.

Наявність *Wi-Fi*-зон, або точок дозволяє користувачу підключитися до будь-якої точки доступу: наприклад, до офісної, домашньої або публічної мережі, а також підтримувати з'єднання декількох комп'ютерів, або інших пристроїв між собою.

Максимальна дальність передачі сигналу у такій мережі становить приблизно 100 метрів, однак на відкритій місцевості вона може досягати значень до 300-400 м. Дальність передачі залежить від багатьох чинників: потужності передавача, наявності та характеристики перешкод, типу антени.

Окрім *802.11b*, існує ще бездротовий стандарт передачі даних *802.11a*, який використовує частоту 5 ГГц, та забезпечує максимальну швидкість 54 Мбіт/сек., а

також 802.11g, що працює на частоті 2,4 ГГц і також забезпечує 54 Мбіт/сек. Крім цього, на сьогоднішній день ведеться розробка стандарту 802.11n, який у майбутньому зможе забезпечити швидкості передачі до 320 Мбіт/сек.

Ядром бездротової комп'ютерної мережі *Wi-Fi* є так звана точка доступу, або *Access Point*, яка підключається до будь-якої наземної мережевої інфраструктури та забезпечує передачу радіосигналу. Зазвичай, точка доступу складається із приймача, передавача, інтерфейсу для підключення до провідної мережі та програмного забезпечення, призначеного для обробки даних. Навколо точки доступу формується територія радіусом 50-100 метрів, яку називають хот-спотом або зоною *Wi-Fi*, на якій можна користуватися цією бездротовою мережею.

Для того, щоб підключитися до точки доступу бездротової мережі, власник ноутбуку або мобільного пристрою, що має *Wi-Fi* адаптер, необхідно просто потрапити в радіус її дії. Всі дії із визначення пристрою та налаштування мережі більшість операційних систем комп'ютерів і мобільних пристроїв проводять автоматично.

Стандарти бездротової технології передачі даних для мереж *Wi-Fi* є досить заплутаними, а тому спочатку варто визначити термінологію.

Стандарт *IEEE 802.11* є базовим стандартом для побудови бездротових локальних мереж *Wireless Local Network – WLAN*. Стандарт *IEEE 802.11*[1] постійно вдосконалювався, а тому зараз існує сімейство, до якого відносять специфікації *IEEE 802.11*, що мають буквені індекси – *a, b, c, d, e, g, h, i, j, k, l, m, n, o, p, q, r, s, u, v, w*. Однак тільки п'ять з них (*a, b, g, i* та *n*) є основними та користуються найбільшою популярністю у виробників устаткування. Інші являють собою доповнення, удосконалення або виправлення прийнятих раніше специфікацій. Інститут інженерів по електроніці й електротехніці *IEEE* займається тільки розробкою та приймає специфікації, на перераховані вище стандарти. До обов'язків цього інституту не входять роботи з тестування приладів різних виробників на сумісність.

Для просування на ринку пристроїв для бездротових локальних мереж *WLAN* була створена група, що одержала назву Альянс *Wi-Fi*. Цей альянс здійснює керівництво роботами по сертифікації устаткування різних виробників та видачу

дозволу на використання членами Альянсу *Wi-Fi* логотипа торговельної марки *Wi-Fi*. Наявність на устаткуванні логотипа *Wi-Fi* гарантує його надійну та стабільну роботу і сумісність устаткування при побудові бездротової локальної комп'ютерної мережі *WLAN* навіть при використанні пристроїв від різних виробників. На сьогоднішній день *Wi-Fi* сумісним є устаткування, яке побудоване згідно зі стандарту *IEEE 802.11a, b і g*, а для забезпечення захищеного з'єднання також може використовуватися стандарт *IEEE 802.11i*. Крім того, наявність на устаткуванні логотипа *Wi-Fi* означає, що робота устаткування здійснюється в діапазоні 2,4 ГГц або 5 ГГц. Отже, під *Wi-Fi* слід розуміти сумісність устаткування різних виробників, призначеного для побудови бездротових локальних комп'ютерних мереж, з урахуванням всіх викладених вище обмежень.

Перша специфікація стандарту *IEEE 802.11* була прийнята в 1997 році, та встановлювала передачу даних на швидкості 1 і 2 Мбіт/с у неліцензійному діапазоні частот 2,4 ГГц, а також регламентувала спосіб керування доступом до фізичного середовища, та використовувало метод множинного доступу із упізнанням несучої та усуненням колізій (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, CSMA - CA*).

Метод *CSMA-CA* полягає в наступному. Для визначення стану каналу, авн зайнятий або вільний, використовується алгоритм оцінки рівня сигналу в каналі, та відповідно до якого виконується вимірювання потужності сигналів на вході приймача та якість сигналу. Якщо потужність сигналів, що приймається, на вході приймача нижче граничного рівня, тоді канал вважається вільним, якщо ж їхня потужність вище граничного значення, то канал вважається зайнятим.

*IEEE 802.11n* – новітня версія стандарту 802.11 для комп'ютерних мереж *Wi-Fi*. Цей стандарт був затверджений у 2009 році. Стандарт 802.11n підвищує швидкість передачі даних практично в 4 рази в порівнянні із пристроями стандартів 802.11g, де максимальна швидкість дорівнює 54 Мбіт/с, за умови використання в режимі 802.11n з іншими пристроями 802.11n. Пристрої 802.11n працюють у діапазонах порядку 2,4-2,483 або 5,0 ГГц. Крім того, пристрої 802.11n можуть працювати в наступних режимах:

1. Наслідуваному *Legacy*. В цьому режимі забезпечується підтримка пристроїв 802.11b/g і 802.11a.

2. Змішаному *Mixed*. В цьому режимі підтримуються пристрої 802.11b/g, 802.11a і 802.11n.

3. Чистому режимі 802.11n. Саме в цьому режимі можна скористатися перевагами підвищеної швидкості та збільшеною дальністю передачі даних.

Остаточна версія стандарту 802.11n, була прийнята в 2009 році, та забезпечує швидкість до 300 Мбіт/с, багатоканальний вхід/вихід, який більш відомий, як *MIMO* та більше покриття. Пристрої, що підтримують стандарт 802.11n, можуть працювати в одному із двох діапазонів – 2,4 або 5 ГГц.

Специфікація 802.11n передбачає використання як стандартних каналів шириною 20 МГц, так і широкосмугових – на 40 МГц із більш високою пропускну здатністю. Проєкт версії 2.0 цього стандарту рекомендує застосовувати 40-мегагерцеві канали тільки в діапазоні 5 ГГц, однак користувачі багатьох пристроїв такого типу одержують можливість вручну переходити на широкосмугові канали навіть у діапазоні 2,4 ГГц. Ключовий компонент стандарту 802.11n, що має назву *MIMO*, або *Multiple Input, Multiple Output* – багато входів, багато виходів. Цей стандарт передбачає застосування просторового мультиплексування з метою одночасної передачі декількох інформаційних потоків по одному каналу, а також багатопроменеве відбиття, що забезпечує доставку кожного біта інформації відповідному користувачеві з незначною ймовірністю впливу завад та втрат даних. Саме можливість одночасного прийому та передач даних визначає високу пропускну здатність пристроїв стандарту 802.11n [16]. В таблиці нижче (таб.3.1) наведені основні технічні характеристики стандартів *IEEE802.11a, b, g і n*.

Основні характеристики стандартів *IEEE 802.11(a,b,g,n)*.

Стандарт	<i>IEEE 802.11a</i>	<i>IEEE 802.11b</i>	<i>IEEE 802.11g</i>	<i>IEEE 802.11n</i>
Частотний діапазон, ГГц	5.15-5.25 5.67-5.85	2.4-2.483	2.4-2.483	2.4-2.483 5.15-5.25 5.67-5.85
Доступ до радіоканалу	<i>CSMA-CA</i>	<i>CSMA-CA</i>	<i>CSMA-CA</i>	<i>CSMA-CA</i>
Кількість абонентів на один канал	64	64	64	64
Максимальна швидкість обміну даними	54Мбіт/с	11 Мбіт/с	54 Мбіт/с	480 Мбіт/с
Метод модуляції	<i>OFDM</i>	<i>BPSK, CCK</i>	<i>OFDM</i>	<i>BPSK, 16-QAM, 64-QAM</i>
Дальність дії в приміщенні, м	10-20	20-100	20-50	10-20

### 3.2.3. Бездротові мережі на основі *Mesh*-технології

*Mesh*-мережі – це стільникові системи з самоконфігуруванням, у яких кожен вузол може передавати повідомлення з доручення інших вузлів, що збільшує дальність зв'язку і доступну смугу пропускання. Розробку стандарту почали в 2004 році. Перша редакція стосувалася використання *Mesh*-мережі в офісах та житлових приміщеннях. Єдині специфікації для *Mesh*-мереж створюють такі організації як *SEEMesh* і *Wi-Mesh Alliance*. Стандарт *802.11s* спирається на стандарти *IEEE 802.11a/b/g*, *IEEE 802.11i* та сумісні з ними. Він додає додаткові функції, що дозволять безпроводовим вузлам знаходити одне одного, аутентифікувати і встановлювати зв'язок між собою, виробляючи при цьому найбільш ефективний маршрут для рішення конкретної задачі. *Mesh*-мережа сама визначає оптимальні маршрути передачі і компенсує вихід з ладу окремих її вузлів. Технологія припускає використання концепції гарантованої якості обслуговування – такий рівень самоконфігурування дозволяє не тільки створювати ефективні безпроводові комп'ютерні мережі, але й автоматизувати весь процес установки і реконфігурації цих мереж. Безпроводові точки доступу *Mesh*-мережі одночасно виконують в мережі функції роутерів та повторювачів сигналу.

*Mesh*-мережі – це новий перспективний принцип побудови широкосмугових бездротових комп’ютерних мереж, відмінною особливістю якого є самоорганізація архітектури мережі, що забезпечує реалізацію наступних можливостей:

- використання безпроводних транспортних каналів при побудові мережі за топологією «кожен з кожним»;
- масштабування комп’ютерної мережі – зміна площі зони покриття і щільності інформаційного забезпечення в режимі самоорганізації;
- стійкість комп’ютерної мережі до відмови окремих її елементів;
- зменшення вартості розгортання мережі [29].

### **3.3. Технологія радіозв’язку *Bluetooth***

#### **3.3.1. Загальний огляд *Bluetooth*-технології**

Технологія *Bluetooth* створена у 1998 році групою компаній: *Ericsson, IBM, Intel, Nokia, Toshiba*. Технологія *Bluetooth*, або стандарт *IEEE 802.15*, стала першою технологією, яка дозволяє організувати бездротову персональну мережу передачі даних *WPAN – Wireless Personal Network*. Ця технологія дозволяє здійснювати передачу даних і голосу по радіоканалу на невеликі відстані порядку 10-100 м у неліцензійному діапазоні частот 2,4 ГГц та поєднувати ПК між собою, смартфони та інші пристрої при відсутності прямої видимості.

В наш час розробки в області *Bluetooth*-технологій ведуться групою *Bluetooth SIG – Special Interest Group*, до якої входять такі компанії, як *Lucent, Microsoft* та інші, чия діяльність пов’язана з мережними комп’ютерними технологіями. Основне призначення *Bluetooth* – забезпечення економного з точки зору споживаного струму та дешевого радіозв’язку між різноманітними типами електронних пристроїв, таких як смартфони та аксесуари до них, портативні та настільні ПК, принтери та ін. До того ж, велике значення приділяється компактності електронних компонентів, що дає можливість застосовувати *Bluetooth* у малогабаритних пристроях.

Інтерфейс *Bluetooth* дозволяє здійснювати передачу як голосу – зі швидкістю 64 Кбіт/с, так і даних. Для передачі даних можуть бути використані асиметричний – 721 Кбіт/с в одному напрямку і 57,6 Кбіт/с в іншому, та симетричний – 432,6 Кбіт/с в обох

напрямках методи. Працюючи на частоті 2.4 ГГц, прийомопередавач, тобто *Bluetooth*-чип, дозволяє встановлювати зв'язок у межах 10 або 100 метрів. Стандарті *Bluetooth* передбачає шифрування даних, що передаються з використанням ключа ефективної довжини від 8 до 128 біт і можливістю вибору односторонньої або двосторонньої аутентифікації. Крім того, до шифрування на протокольному рівні, може бути використано шифрування на програмному рівні.

Технологія *Bluetooth* підтримує як з'єднання між пристроями типу «точка-точка», так і «точка-декілька точок». Два або більше пристроїв, що використовують один канал утворюють піко мережу, або *piconet*. Один із пристроїв в такій мережі працює в якості основного *master*, а інші – в якості залежних *slave*. В одній мережі *piconet* може бути до семи активних залежних пристроїв, при цьому інші залежні пристрої перебувають у стані «паркування», залишаючись синхронізованими з основним пристроєм. Взаємодіючі між собою такі пікомережі утворюють «розгалужену мережу» – *scatternet*. У кожній пікомережі діє тільки один основний пристрій, однак при цьому залежні пристрої можуть входити до різних пікомереж. Крім того, основний пристрій однієї пікомережі може бути залежним в іншій піко мережі (рис.3.2).

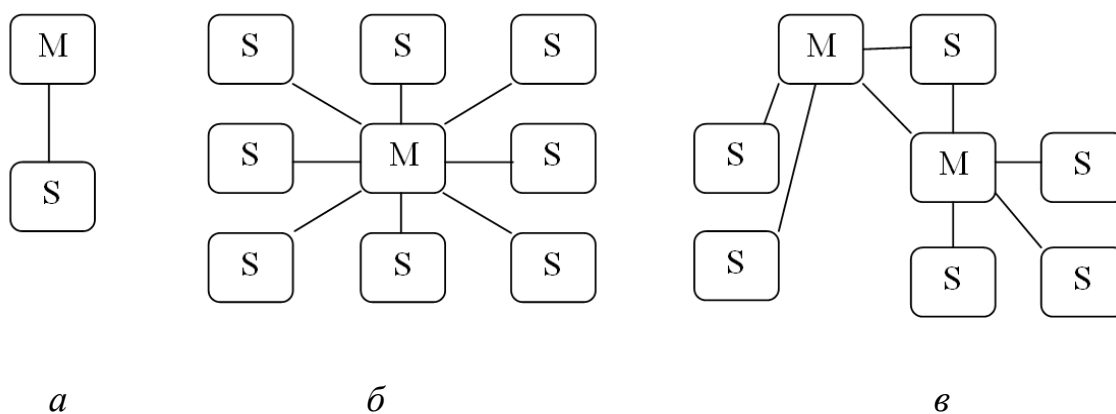


Рис.3.2. Пікомережі: а - з одним залежним пристроєм; б - з кількома залежними пристроями; в - розгалужена мережа

У більшості випадків технологія *Bluetooth* використовується розробниками для заміни провідного послідовного з'єднання між двома пристроями на бездротове. Для організації з'єднання та здійснення передачі даних розробнику необхідно програмно,

за допомогою команд інтерфейсу хост контролера, реалізувати верхні рівні стека протоколу *Bluetooth*, до яких відносять: *L2CAP*, *RFCOMM*, *SDP*. Крім того, профіль взаємодії по послідовному порту – *SPP Serial Port Profile* і профіль виявлення послуг *SDP Service Discovery Profile*.

В 2004 році була прийнята специфікація *Bluetooth* версії 1.2. Її основні відмінності від попередньої були наступні:

1. Реалізація технології адаптивної зміни частоти каналу *Adaptive Frequency hopping, AFH*.
2. Вдосконалення голосового з'єднання.
3. Значне скорочення часу, що використовується для встановлення з'єднання між двома *Bluetooth*-модулями.

Оскільки *Bluetooth* і *Wi-Fi* використовують той самий неліцензійний частотний діапазон 2,4 ГГц., то в тих випадках, коли *Bluetooth*-пристрої перебувають у зоні дії пристроїв *Wi-Fi* і здійснюють обмін даними між собою, можуть відбуватися колізії, що можуть вплинути на працездатність пристроїв. Технологія *AFH* дозволяє уникнути появи таких колізій: під час обміну інформацією для боротьби з інтерференцією технологія *Bluetooth* використовує стрибкоподібну зміну частоти каналу, при виборі якого не враховуються частотні канали, якими здійснюють обмін даними пристрої *Wi-Fi*. Основні принципи технології *AFH* (рис. 3.3).

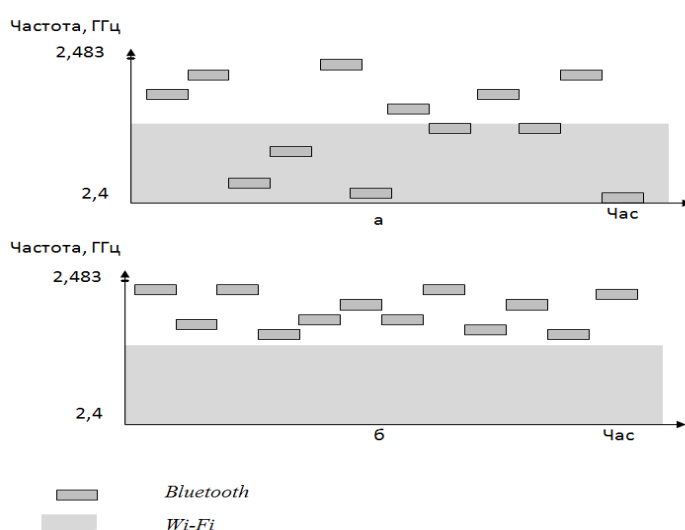


Рис.3.3. Принцип дії технології *AFH*: *a* – колізії; *б* – перехід від колізій за допомогою адаптивної перестройки частоти



Для обміну даними за технологією *A FH* необхідно від 20 до 30 каналів, в той час, як для обробки сигналів *Bluetooth* потрібно 79 каналів, кожний канал вимагає смуги частот 1 МГц. Таким чином, скоротивши необхідну кількість каналів можна зменшити, використовуючи діапазон частот і уникнути перекривання сигналів від пристроїв *Bluetooth* і *Wi-Fi*. Зараз на ринку працює велика кількість фірм, які пропонують модулі *Bluetooth*, а також компоненти для самостійної реалізації апаратної частини *Bluetooth* пристрою. Практично всі виробники в наш час пропонують модулі, що підтримують специфікації *Bluetooth* версії 1.1 і 1.2 і відповідають класу 2 з діапазоном дії 10 м і класу 1 з діапазоном дії 100 м. Однак, незважаючи на те, що версія 1.1 *Bluetooth* повністю сумісна з 1.2, всі розглянуті вище вдосконалення, реалізовані у версії 1.2, можуть бути отримані, тільки якщо обидва пристрої відповідають версії 1.2. В 2004 року була прийнята нова специфікація *Bluetooth* версії 2.0, що підтримувала технологію розширеної передачі даних *Enhanced Data Rate, EDR*. Специфікація 2.0 з підтримкою *EDR* дозволяла здійснювати обмін даними на швидкості до 3 Мбіт/с. Перші зразки модулів версії 2.0, що виготовлялися серійно, були запропоновані виробниками в 2005 року. Радіус дії таких модулів становить 10 м при відсутності прямої видимості, що відповідає класу 2, а при наявності прямої видимості він може сягати 30 м. Як зазначалося раніше, основне призначення технології *Bluetooth* – заміна провідного послідовного з'єднання. При цьому профіль *SPP*, що використовується для організації з'єднання, звичайно ж, не єдиний профіль, що може використовуватися розробниками у своїх пристроях. Технологією *Bluetooth* визначені наступні профілі: профіль загального доступу (*Generic Access Profile*), профіль виявлення послуг (*Service Discovery Profile*), профіль взаємодії з бездротовими телефонами (*Cordless Telephony Profile*), профіль інтерком (*Intercom Profile*), профіль бездротових гарнітур для мобільних телефонів (*Headset Profile*), профіль віддаленого доступу (*Dial-up Networking Profile*), профіль факсимільного зв'язку (*Fax Profile*), профіль локальної мережі (*Lan Access Profile*), профіль обміну даними (*Generic Object Exchange*), профіль передачі даних (*Profile Object Push Profile*), профіль обміну файлами (*File Transfer Profile*), профіль синхронізації (*Synchronization Profile*) [15].

### 3.4. Бездротові мережі *ZigBee*

#### 3.4.1. Загальний огляд технології *ZigBee*

*ZigBee* – це технологія бездротової передачі даних, яка була представлена на ринку вже після появи таких технологій бездротової передачі даних, як *Bluetooth* і *Wi-Fi*. Поява *ZigBee* було обумовлено, насамперед, тим, що для деяких операцій, таких як віддалене керування освітленням або гаражними воротами, або зчитування інформації з датчиків, основними критеріями при виборі технології бездротової передачі є, насамперед, низьке енергоспоживання апаратної частини та її низька вартість. Цим обумовлена її низька пропускну спроможність, тому що в більшості випадків живлення датчиків здійснюється від вмонтованої батареї, час роботи від якої має бути досить довгим і перевищувати декілька місяців і навіть років. Існуючі на той момент часу технології бездротової передачі даних *Bluetooth* і *Wi-Fi* не відповідали цим критеріям, бо вони забезпечували передачу даних на високих швидкостях, але і з високим рівнем енергоспоживання і вартості апаратної частини. В 2001 році робочою групою № 4 *IEEE 802.15* були розпочаті роботи зі створення нового стандарту, який би відповідав наступним вимогам: низький рівень енергоспоживання апаратної частини, яка реалізує технологію бездротової передачі даних, при цьому час роботи від батареї повинен становити від декількох місяців до декількох років; передача інформації повинна здійснюватися на невисокій швидкості; низька вартість апаратної частини. Результатом стала розробка стандарту *IEEE 802.15.4*. У багатьох публікаціях під стандартом *IEEE 802.15.4* розуміють технологію *ZigBee*, та навпаки: під *ZigBee* – стандарт *IEEE 802.15.4*. Але це не так. Стандарт *IEEE 802.15.4* визначає взаємодію тільки двох нижчих рівнів моделі взаємодії: фізичного рівня *PHY* і рівня керування доступом до радіоканалу для трьох неліцензійних діапазонів частот: 2,4 ГГц, 868 МГц, та 915 МГц. Вище було наведено основні характеристики устаткування, що функціонує в цих частотних діапазонах (табл. 3.2). Рівень *MAC* відповідає за керування доступом до радіоканалу з використанням методу множинного доступу з упізнаванням несучої частоти й усуненням колізій *Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*, (*CSMA/CA*), а також за керування підключенням і відключенням

від мережі передачі даних та забезпечення захисту переданої інформації симетричним ключем *AES-128*. У свою чергу, технологія бездротової передачі даних *ZigBee*, запропонована альянсом *ZigBee*, визначає інші рівні моделі взаємодії: до них відносять мережійний рівень, рівень безпеки, рівень структури додатка й рівень профілю додатка. Мережійний рівень – технології бездротової передачі даних *ZigBee*, відповідає за виявлення пристроїв і конфігурацію мережі, та підтримує три варіанти топології мережі (рис. 3.4). Передача даних в комп'ютерних мережах з деревоподібною топологією використовує ієрархічну стратегію вибору маршруту, та може проходити під централізованим керуванням. Для цього на фізичному рівні в мережі потрібно використовувати періодичні сигнали маяків від координаторів. Тому в таких мережах може бути використаний режим синхронізованого доступу та так званий «режим сну» для мережевих пристроїв, що дозволяє значно зменшити енергоспоживання, і цей режим підтримують мережеві протоколи *ZigBee*. У таких комп'ютерних мережах мережеві пристрої слухають ефір і виходять в ефір у певні моменти часу, що прив'язані до сигналів маяків (рис.3.4, а). В інший час пристрої знаходяться в «режимі сну». В цьому режимі може перебувати і пристрій, що випромінює сигнали маяків. Цю ситуацію можна трактувати як гомогенний, або однорідний розподіл потужності між всіма пристроями в мережі.

Таблиця 3.2

Основні характеристики устаткування

Діапазон частот	Кількість каналів	Швидкість передачі даних	Тип модуляції
868 - 870 МГц	1	20Кбіт/с	<i>BPSK</i>
902 - 928 МГц	10	40Кбіт/с	<i>BPSK</i>
2.4 - 2.4835 ГГц	16	250Кбіт/с	<i>0-Q PSK</i>

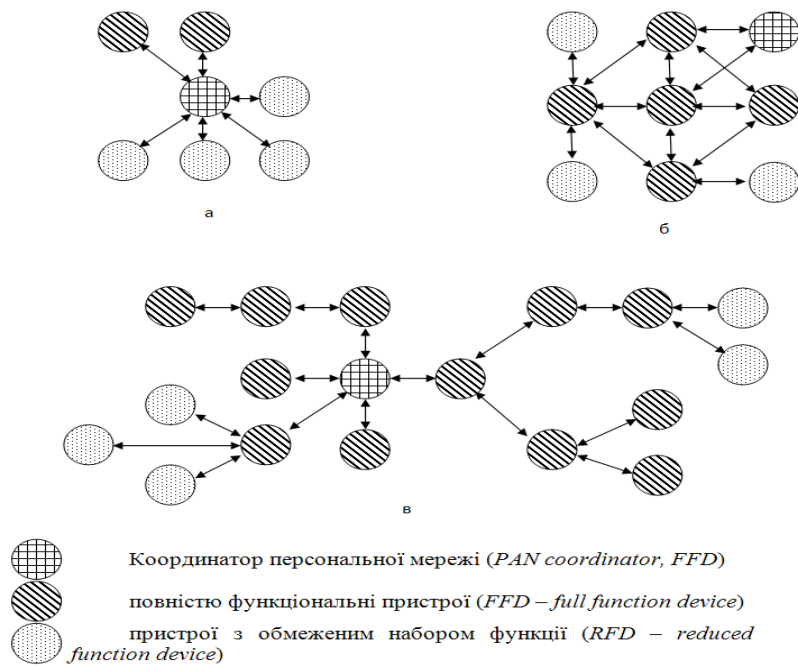


Рис.3.4. Варіанти топології мережі *ZigBee*

Мережі, що мають топологію *Mesh* (рис.3.4 б,в), принципово орієнтовані на асинхронну передачу даних. Наприклад, команди включення і вимикання в мережах керування, або даних від «прокинувшись» або «несплячих» сенсорів у сенсорних мережах. Вся мережа повинна «не спати» і бути завжди готова передати ці дані адресату, наприклад, приладам або центру збору інформації. У таких мережах розподіл споживаної потужності між мережевими пристроями може бути асиметричний: в той час, як одні пристрої постійно працюють, інші пристрої більшу частину часу знаходяться в режимі сну. Вихід із режиму сну цих пристроїв має бути обумовлений якоюсь серйозною зовнішньою причиною, наприклад, необхідністю передати по мережі якусь команду. Подібні мережі іноді мають назву гетерогенних. Для забезпечення низької вартості інтеграції технології бездротової передачі *ZigBee* в різні сфери фізична реалізація апаратної частини стандарту *IEEE 802.15.4* конструктивно виконується у двох виконаннях: пристрої з обмеженим набором функцій (*RFD*) і пристроїв з повною функціональністю (*FFD*). При реалізації однієї з топологій мережі, що наведена на рис. 3.4, потрібна наявність, хоча б одного *FFD* пристрою, що виконує роль мережевого координатора (МК). Перелік функцій, що виконуються пристроями *FFD* та *RFD* (табл. 3.3).

Перелік функцій для пристроїв *RFD* та *FFD*

Пристрої з обмеженим набором функцій ( <i>RFD reduced function device</i> )	Повністю функціональні пристрої ( <i>FFD full function device</i> )
При об'єднанні <i>RFD</i> пристроїв може використовуватися тільки топологія «зірка»	При об'єднанні <i>FFD</i> пристроїв можуть використовуватися усі можливі топології: «зірка», «кожен з кожним», «кластерне дерево».
Не можуть виступати в ролі МК	Можуть виступати в ролі МК, забезпечуючи при цьому маршрутизацію повідомлень всередині мережі
Для обміну даними можуть встановлювати зв'язок тільки з МК ( <i>FFD</i> пристроєм)	Обмін даними може проводитись з МК, іншим <i>FFD</i> пристроєм, або <i>RFD</i> пристроєм
Живляться від вбудованої батареї	Живляться від зовнішнього джерела

Низька вартість апаратної частини *RFD* пристроїв забезпечується за рахунок обмеження набору функцій при організації взаємодії їх з МК або *FFD*- пристроями. А це в свою чергу, відбивається на неповній реалізації моделі взаємодії, а також висуває мінімальні вимоги до ресурсів пам'яті. Крім розподілу пристроїв на *RFD* та *FFD*, альянсом *ZigBee* визначені три типи логічних пристроїв: *ZigBee* координатор, або узгоджуючий пристрій, *ZigBee* маршрутизатор та кінцевий пристрій *ZigBee*. Координатор здійснює ініціалізацію комп'ютерної мережі, керування її вузлами, а також зберігає інформацію про налаштування кожного з вузлів, які приєднані до мережі. *ZigBee* маршрутизатор відповідає за маршрутизацію повідомлень, які передаються по мережі від одного вузла до іншого. Під кінцевим пристроєм розуміють будь-який кінцевий пристрій, що приєднаний до мережі. Розглянуті вище пристрої *RFD* та *FFD* є кінцевими пристроями. Тип логічного пристрою при побудові мережі визначає кінцевий користувач за допомогою вибору певного профілю, запропонованого альянсом *ZigBee*. При побудові комп'ютерної мережі з топологією «кожний з кожним» передача повідомлень від одного вузла до іншого може здійснюватися по різним маршрутам, що дозволяє будувати розподілені мережі. Наприклад мережі, що поєднують кілька невеликих мереж в одну більшу – так зване

кластерне дерево. В таких мережах є можливість встановлення вузлів на досить великій відстані одного від іншого, та забезпечення надійної доставки повідомлень. Технологія *ZigBee* може бути інтегрована у системи автоматизації життєзабезпечення будинків – дистанційне керування мережними розетками, вимикачами, та ін.; системи керування побутовою електронікою; системи автоматичного зняття показань із різних лічильників (газу, води, електрики та ін.); системи безпеки (датчики задимлення, датчики доступу й охорони, датчики руху та ін.); системи моніторингу навколишнього середовища (датчики температури, тиску, вологості, вібрації та ін.); системи промислової автоматизації.

Наведений вище огляд технологій бездротової передачі даних *Bluetooth*, *Wi-Fi* та *ZigBee* показує, що навіть для досвідчених розробників буває важко однозначно віддати перевагу тій або іншій технології тільки на підставі технічної документації. Тому підхід до вибору технології передачі даних повинен ґрунтуватися на комплексному аналізі багатьох параметрів. Порівняльні характеристики технологій *Bluetooth*, *Wi-Fi* та *ZigBee* (табл. 3.4). Від використаної технології передачі даних залежить і галузь застосування пристроїв.

Технологія *Wi-Fi* застосовується для побудови бездротових локальних комп'ютерних мереж, для надання доступу до Інтернету, передачі файлів великих розмірів, передачі мультимедійних об'єктів, відео, та ін. Технологія *Bluetooth* застосовується в галузі телекомунікацій для передачі файлів невеликого об'єму, аудіопотоків, з'єднання двох або більше пристроїв між собою, а також замість дротового з'єднання інформаційних каналів. Області застосування технології *ZigBee* – це бездротові мережі датчиків та інших пристроїв, автоматизація житлових та промислових приміщень, створення індивідуальної діагностичної медичної апаратури, промисловий моніторинг та керування, побутова електроніка та периферія персональних комп'ютерів [15].

Порівняльні характеристики технологій *Wi-Fi*, *Bluetooth* та *ZigBee*

Технологія (стандарт)	<i>Wi-Fi (IEEE 802.11n)</i>	<i>Bluetooth (IEEE 802.15.3)</i>	<i>ZigBee (IEEE 802.15.4)</i>
Частотний діапазон, ГГц	2.4-2.483 5.15-5.25 5.67-5.85	2,4 – 2,483	2,4 – 2,483
Пропускна здатність	300 Мбіт/с	3 Мбіт/с	250Кбіт/с
Розмір стеку протоколу, Кбайт	Більше 1000	Більше 250	32 – 64
Час роботи від батареї, годин	12 – 120	24 – 240	2400 – 24000
Максим. кількість елементів в мережі	100	7	65536
Дальність дії, м	20 - 50	10 – 100	10 – 100

### Висновки за розділом

На сьогоднішній день технології *Wi-Fi* знайшли широке застосування і продовжує стрімко розвиватись, поступово освоюючи нові галузі, наприклад передачі мультимедійного контенту. Проте в майбутньому конкуренція з боку інших бездротових стандартів передачі даних буде ільки посилюватись. За головне місце серед низькошвидкісних підключень боротиметься *Bluetooth 2.0*, серед високошвидкісних – *Wireless USB*, на великих відстанях передачі даних – *WIMAX*, серед енергозберігаючих – *ZigBee*. І хто виявиться у результаті переможцем, стане зрозуміле тільки в майбутньому.

Для нас, виходячи з області застосування, важливими є , головним чином, невеликі розміри пристроїв, невелике споживання енергії та невелика вартість технології. Тому самими перспективними варіантами виглядають саме технології *Wi-Fi*, *Bluetooth* та *ZigBee*. Однак дві перші технології програють *ZigBee* в питаннях енергоспоживання і вартості. *ZigBee* ідеально підходить саме для використання в портативних автономних пристроях, розрахованих на роботу від батареї та для яких не є принциповим висока пропускна здатність каналу передачі даних.

## ВИСНОВКИ

У магістерській роботі розроблена автоматична система збору та обробки метеорологічної інформації, що будується на основі МК *ATMega8* та датчиків *DS18B20*, *HIH-4000* та *MPX4115A*. Метою даної роботи було створення приладу, який би задовольняв потреби найсучаснішої вимірювальної техніки, а це, перш за все, швидкодія, надійність, автономність, простота та швидкість обробки інформації та наглядне її представлення. Тому в дипломній роботі створено сучасний вимірювальний прилад, який задовольняє всі приведені вище вимоги, при цьому забезпечуючи достатній діапазон вимірювання фізичних величин та порівняно невелику похибку. Специфікації цього пристрою визначаються його здатністю до швидкодії, надійності, автономності, простоти експлуатації та оперативності обробки інформації, а також зручності її візуалізації.

Дипломна робота відповідає вищезазначеним критеріям, надаючи великий діапазон вимірювання фізичних величин та забезпечуючи порівняно невелику похибку. Розроблено сучасний вимірювальний прилад, який забезпечує високу точність та достовірність отриманих даних.

Особливу увагу при розробці приладу було приділено аспектам швидкодії та ефективності обробки інформації. Застосування мікроконтролера *ATMega8* забезпечило оптимальний баланс потужності та функціональності, що сприяє ефективній роботі системи. Датчики *DS18B20*, *HIH-4000* та *MPX4115A* взаємодіють гармонійно, забезпечуючи високу точність та стабільність вимірювань.

При реалізації важливою була не лише технічна справність системи, але й її зручність для користувача. Однією з ключових переваг є можливість наглядного представлення метеорологічних даних, що дозволяє оперативно аналізувати та використовувати отриману інформацію.

Під час виконання роботи була докладно розглянуто сучасну елементну базу, було проаналізовано технічне завдання та побудовано структурну схему пристрою. В роботі було розглянуто принцип дії як всього пристрою автоматичного збору



метеорологічної інформації, так і його окремих структурних блоків. Результатом розробки цифрового пристрою стала його принципова електрична схема.

В процесі розробки була приділена особлива увага створенню програмного забезпечення, яке відповідає високим стандартам ефективності та зручності управління. Текст програми реалізований мовою програмування C і включений у додатках до даного проєкту для детального ознайомлення з його функціональністю.

Вибір мови програмування C має ключове значення, оскільки ця мова надає переваги платформи-незалежності. Це означає, що розроблена програма є кросплатформеною, що дозволяє їй безперешкодно працювати на різних операційних системах. Такий підхід робить наше програмне забезпечення вкрай гнучким і універсальним у використанні.

Важливим аспектом вибору мови програмування C є також можливість легкої модифікації програми для створення нових версій та розширення її функціональності. Це відкриває широкі перспективи для майбутнього вдосконалення та розвитку. Гнучкість мови C дозволяє швидко впроваджувати зміни та доповнення, що забезпечує стабільність та актуальність програми в змінних умовах та вимогах.

У ході дослідження були детально розглянуті ключові технології бездротового мережевого доступу, які визначають сучасні стандарти та можливості для передачі даних безпосередньо через бездротові канали зв'язку. Аналіз цих технологій дав змогу визначити їхню відмінні ефективності, пропонуючи різні переваги у відношенні до швидкості передачі, стабільності зв'язку та дальності дії.

Виходячи з результатів дослідження, була висунута пропозиція щодо впровадження технології бездротової передачі вимірної метеорологічної інформації з розробленої автоматичної системи до ЦЕОМ. Це відкриває нові перспективи для покращення системи збору метеорологічних даних, забезпечуючи ряд вагомих переваг.

Впровадження бездротової технології передачі дозволить значно підвищити швидкість збору метеоінформації, оскільки дані можуть бути передавані в режимі реального часу. Також це сприятиме розширенню покриття, охоплюючи більші території та регіони. Зробить систему більш мобільною, що дозволить легко

адаптувати її до різноманітних умов та задач. У кінцевому результаті це зробить систему набагато більш зручною у використанні та дозволить оперативно отримувати та обробляти метеодані. Це важливий крок у напрямку вдосконалення та модернізації системи метеорологічного моніторингу.

Дана наукова робота ефективно вирішує основні завдання – забезпечує швидкодію, надійність, автономність та простоту у використанні. Використання мікроконтролера *ATMega8* та гармонійна взаємодія датчиків дозволяють системі працювати оптимально, забезпечуючи великий діапазон вимірювань та невелику похибку.

Аспекти програмного забезпечення також були ретельно вивчені, і вибір мови програмування *C* виявився раціональним, забезпечуючи кросплатформеність та можливість подальшого розвитку. Наголос на швидкості та ефективності обробки інформації підкреслює здатність системи забезпечувати оперативні та точні результати. Окрім технічної справності, особлива увага приділена зручності для користувача. Можливість наглядного представлення метеорологічних даних робить систему зрозумілою та легкою у використанні.

Додатково, в процесі роботи розглянуті технології бездротового мережевого доступу, та запропоновано впровадження бездротової передачі метеорологічної інформації до ЦЕОМ. Це дозволяє покращити швидкість та мобільність системи, розширюючи покриття та забезпечуючи більше можливостей для аналізу та використання отриманої інформації.

Усі ці аспекти демонструють високий рівень технічної та функціональної готовності наукової роботи, яка є важливим внеском у розвиток та модернізацію сучасних систем метеорологічного моніторингу.

У результаті вдалих розробок був створений сучасний вимірювальний прилад, який відповідає вищезазначеним критеріям. Прилад забезпечує широкий діапазон вимірювання фізичних величин та має невелику похибку. Його специфікації включають швидкодію, надійність, автономність, простоту експлуатації та оперативність обробки інформації, а також зручність візуалізації даних.

Отже, магістерська робота є важливим кроком у напрямку створення вдосконаленої та технологічно продуманої автоматичної системи для збору та обробки метеорологічної інформації. Розроблений в рамках цієї наукової роботи вимірювальний прилад представляє собою високоякісний та ефективний інструмент, що ґрунтується на мікроконтролері *ATMega8* та використовує передові датчики, такі як *DS18B20*, *HIH-4000* та *MPX4115A*.

Цей прилад відповідає не лише сучасним стандартам, але й високим вимогам вимірювальної техніки, ставши результатом завершеного дослідження та розробки. Його концепція та функціонал забезпечують великий діапазон вимірювання фізичних величин та високу точність результатів.

Однією з ключових переваг цього приладу є вдале поєднання швидкодії, надійності та автономності, що робить його ідеальним інструментом для роботи у різноманітних умовах. Застосування мікроконтролера *ATMega8* виявилось важливим кроком у досягненні оптимального балансу між потужністю та функціональністю.

Підсумовуючи, наукова робота представляє технологію для метеорологічних вимірювань й відповідає високим стандартам якості та продуктивності в сучасному вимірювальному обладнанні.

## СПИСОК БІБЛОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ

### ДЖЕРЕЛ

1. Баранов В. Н. астосування мікроконтролерів AVR. Схеми. Алгоритми. Програми / В. Н. Баранов. – Київ: Знання, 2018. – 288 с.
2. Зовнішні переривання МК AVR [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://samou4ka.net/page/vneshnie-preryvaniya-mk-avr>.
3. Возняк О. Курс електроніки. Лекції. Мікропроцесорна техніка [Електронний ресурс] / О. Возняк – Режим доступу до ресурсу: <http://vozm.ho.ua/MP/index.html>.
4. ДСТУ 2.710-81. Єдина система конструкторської документації. Позначення літерно-цифрові в електричних схемах.
5. ДСТУ 2.730-73. Єдина система конструкторської документації. Умовні позначення графічні в схемах. Прилади напівпровідникові.
6. ДСТУ 2.728-74. Єдина система конструкторської документації. Умовні позначення графічні в схемах. Резистори, конденсатори.
7. ДСТУ 2.743-91. Єдина система конструкторської документації. Умовні позначення графічні в схемах. Елементи цифрової техніки.
8. ДСТУ 3008-95. Структура і правила оформлення. Документація. Звіти у сфері науки і техніки.
9. Евстифаєв А. В. Мікроконтролери AVR семейства *Tiny* і *Mega* фірми *ATMEL*. / А. В. Евстифаєв. – Київ: Знання, 2019. – 560 с.
10. ЕСКД ДЕРЖСТАНДАРТ 2.743-91. Позначення умовні графічні в схемах. Елементи цифрової техніки.
11. Слободян О. Положення про дипломні роботи (проекти) випускників Національного авіаційного університету / О. Слободян. – Київ: СМЯ - НАУ, 2017. – 63 с.
12. Вимірювальні ланцюги. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://easyelectronics.ru/izmeritelnye-cepi.html>.

13. Використання символічних рідкокристалічних *LCD* дисплеїв. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.avislab.com/blog/lcd/>.
14. Кашкарова А. П. Фото- та термодатчики в електронних схемах. / А. П. Кашкарова. – Київ: Вища школа, 2020. – 212 с.
15. Лієри Д. Основи побудови бездротових локальних мереж стандарту 802.11. / Д. Лієри, П. Рошан. – Київ: Либідь, 2018. – 304 с.
16. Макаренко А. Ю. Серія – Радіотехніка. Радіоапаратобудування / А. Ю. Макаренко, А. О. Парфенова, С. Б. Могильний // Бездротові технології передачі даних *Wi-Fi, Bluetooth* та *ZigBee*. / А. Ю. Макаренко, А. О. Парфенова, С. Б. Могильний. – Київ: Вісник Національного технічного університету України «КПІ» Серія – Радіотехніка. Радіоапаратобудування, 2019. – С. 22–27.
17. Моніторинг напруги бортової електромережі автомобіля. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.rlocman.ua/shem/schematics.html?di=107109>.
18. Мортон Д. Мікроконтролери AVR. Вводний курс / Д. Мортон. – Київ: Магнолія, 2020. – 272 с.
19. Невелика метеостанція своїми руками [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.avislab.com/blog/meteo>.
20. Олівер В. Г. Комп'ютерні мережі. Принципи, технології, протоколи / В. Г. Олівер. – Київ: *BHV*, 2020. – 864 с. – (2-е видання).
21. Особливості використання датчика тиску *MPX4115A* та датчика вологості *HIH4000* [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.avislab.com/blog/mpx4115a-hih4000>.
22. Поджаренко В. О. Метрологія та вимірювальна техніка. Для самостійної роботи студентів та виконання курсових робіт / В. О. Поджаренко. – Вінниця: ВДТУ, 2017. – 65 с.
23. Підключаємо мікроконтроллер до комп'ютера [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [http://www.avislab.com/blog/uart\\_usb/](http://www.avislab.com/blog/uart_usb/)

24. Розрахунок параметричного стабілізатора на стабілітроні. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [http://www.isken.hotbox.ua/power/power\\_files/stab2.htm](http://www.isken.hotbox.ua/power/power_files/stab2.htm).

25. Столлігіс В. Безпроводні лінії зв'язку та мережі / В. Столлігіс. – Вінниця: ВДТУ, 2018. – 640 с.

26. Федоркова Б. Г. Мікросхеми ЦАП и АЦП: функціонування, параметри, застосування. / Б. Г. Федоркова, В. А. Телець. – Київ: Генеза, 2016. – 320 с.

27. Шахнович І. Сучасні технології бездротового зв'язку / І. Шахнович. – Київ: Каравела, 2020. – 168 с.

28. Шіллер Й. Мобільні комунікації / Й. Шіллер. – Київ: Вільямс, 2018. – 384 с.

29. Шпак Ю. А. Програмування на мові C для AVR і PIC / Ю. А. Шпак. – Львів: «Львівська політехніка», 2021. – 544 с.

30. AVR. Навчальний курс. Підпрограми та переривання [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://easyelectronics.ua/avr-uchebnyj-kurs-podprogrammy-i-preryvaniya.html>.

31. AVR. Навчальний курс. Використання АЦП. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://easyelectronics.ua/avr-uchebnyj-kurs-ispolzovanie-acp.html>.

32. *Data sheet. +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers. Maxim. 2018.*

33. *Data sheet. ATmega8. Atmel. 2019.*

34. *Data sheet. DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer. Maxim. 2018.*

35. *Data sheet. HIH-4000 Series Humidity Sensors. Honeywell. 2020.*

36. *Data sheet. LM78LXX Series. 3-Terminal Positive Regulators. National Semiconductor. 2021.*

37. *Data sheet. MPX4115A, MPXA4115A Series. Motorola. 2019.*

## ДОДАТОК А.

### Програмна частина автоматичної системи збору та цифрової обробки метеорологічної інформації.

Вміст файлу *main.c*:

```
#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <avr/pgmspace.h>
#include "onewire.h"
#include "ds18x20.h"
#include "delay.h"
#include "lcd_lib.h"
#include "uart.h"

#define BAUD 9200
#define UBRR (F_CPU/16/BAUD)-1
#define RX_BUF_SIZE 20
#define MAXSENSORS 1

char bufferRX[RX_BUF_SIZE];
uint8_t iRX;
char cRX;

const uint8_t mmrtst[] PROGMEM = "jj\0";

const uint8_t gradus[] PROGMEM = {
0b00001000,
0b00010100,
```

```
0b00001000,  
0b00000000,  
0b00000000,  
0b00000000,  
0b00000000,  
0b00000000  
};
```

```
const uint8_t battery0[] PROGMEM= {  
0b00001110,  
0b00011011,  
0b00010001,  
0b00010001,  
0b00010001,  
0b00010001,  
0b00010001,  
0b00010001,  
0b00011111  
};
```

```
const uint8_t battery25[] PROGMEM= {  
0b00001110,  
0b00011011,  
0b00010001,  
0b00010001,  
0b00010001,  
0b00010001,  
0b00010001,  
0b00011111,  
0b00011111  
};
```



```
const uint8_t battery50[] PROGMEM= {  
0b00001110,  
0b00011011,  
0b00010001,  
0b00010001,  
0b00011111,  
0b00011111,  
0b00011111,  
0b00011111  
};
```

```
const uint8_t battery75[] PROGMEM= {  
0b00001110,  
0b00011011,  
0b00010001,  
0b00011111,  
0b00011111,  
0b00011111,  
0b00011111,  
0b00011111,  
0b00011111  
};
```

```
const uint8_t battery100[] PROGMEM= {  
0b00001110,  
0b00011111,  
0b00011111,  
0b00011111,  
0b00011111,  
0b00011111,  
0b00011111,  
0b00011111,
```

```
0b00011111
```

```
};
```

```
uint8_t gSensorIDs[MAXSENSORS][OW_ROMCODE_SIZE];
```

```
uint8_t buffer[8];
```

```
#define SHOW_BUFFER_SIZE 24
```

```
uint8_t SHOW_FLAG;
```

```
uint8_t OK_FLAG;
```

```
uint8_t buffer_show[SHOW_BUFFER_SIZE];
```

```
uint8_t iSHOW;
```

```
uint8_t time_counter;
```

```
uint32_t time_sec;
```

```
// Функція очищує буфер та встановлює лічильник символів в 0
```

```
void clear_show_buffer(void) {
```

```
    for (iSHOW=0;iSHOW<SHOW_BUFFER_SIZE;iSHOW++)
```

```
        buffer_show[iSHOW] = 0;
```

```
    iSHOW = 0;
```

```
}
```

```
// Функція додає строку до буфера
```

```
void str_to_show_buffer(uint8_t *_buffer) {
```

```
    uint8_t i;
```

```
    i=0;
```

```
    while ((_buffer[i]!=0) && (iSHOW < SHOW_BUFFER_SIZE)) {
```

```
        if (_buffer[i] != 32) {
```

```
            buffer_show[iSHOW] = _buffer[i];
```

```
            iSHOW++;
```

```

}
i++;
}
}

// Функція додає символ до буфера
void char_to_show_buffer(char c) {
    if (iSHOW < SHOW_BUFFER_SIZE)
    {
        buffer_show[iSHOW] = c;
        iSHOW++;
    }
}

// Функція конвертує число в строку для отправки на LCD
void intToStr(uint8_t* _buffer, uint16_t _value, uint8_t _n) {
    uint8_t i,j;
    uint16_t num;
    for (i=0; i<_n; i++) {
        if (/*(i==0) &&*/ (_value != abs(_value))) {
            _value = abs(_value);
            _buffer[i] = 45;
        } else {
            num = 1;
            for (j=1; j< (_n-i); j++) {
                num = num*10;
            }
            _buffer[i] = (_value / num);
            _value -= _buffer[i] * num;
            _buffer[i] += 48;
        }
    }
}

```

```
}  
}  
}
```

// Функція заміню початкові нулі до вказаної позиції

```
void ZeroToSpace(uint8_t* _buffer, uint8_t _n) {  
    uint8_t i;  
    i = 0;  
    while ((i < _n) & ( (_buffer[i]==48) || (_buffer[i]==45) )) {  
        if (_buffer[i]==48) {  
            _buffer[i] = 32;  
        }  
        i++;  
    }  
    if (_buffer[0]==45) {  
        _buffer[0] = 32;  
        _buffer[i-1] = 45;  
    }  
}
```

// Функція перетворює число на строку

```
void floatToStr(uint8_t* _buffer, float _value, uint8_t _n, uint8_t _nPoint) {  
    uint8_t i;  
    if (_nPoint > 0) {  
        for (i=0; i<_nPoint+1; i++) {  
            _value *= 10;  
        }  
    }  
    intToStr(_buffer, _value, _n);  
    if (_nPoint > 0) {
```

```

    ZeroToSpace(_buffer, _n-_nPoint-2);
}
else {
    ZeroToSpace(_buffer, _n-1);
}
if (_nPoint > 0) {
    for (i=1; i<=_nPoint; i++) {
        _buffer[_n-i] = _buffer[_n-i-1];
        _buffer[_n] = 0;
    }
    _buffer[_n-i] = '.';
}
}

// Функція перетворення секунд в формат часу
void SecondsToTime (uint8_t* _buffer, uint32_t _Seconds) {
    uint32_t h,m,s;
    h = _Seconds / 3600;
    m = (_Seconds - h*3600) / 60;
    s = _Seconds - h*3600 - m*60;
    intToStr(_buffer, s, 2);
    _buffer[7] = _buffer[1];
    _buffer[6] = _buffer[0];
    _buffer[5] = '.';

    intToStr(_buffer, m, 2);
    _buffer[4] = _buffer[1];
    _buffer[3] = _buffer[0];
    _buffer[2] = '.';
    intToStr(_buffer, h, 2);
}

```

```
}
```

```
// Функція возведення 2 у ступінь
```

```
uint32_t pow_10(uint8_t i)
```

```
{
```

```
    uint16_t uiData;
```

```
    if (i==0) return 1;
```

```
    uiData=10;
```

```
    i=i-1;
```

```
    while(i) {
```

```
        uiData *= 10;
```

```
        i--;
```

```
    }
```

```
    return uiData;
```

```
}
```

```
// Функція перетворює строку на число
```

```
uint32_t StrToInt (uint8_t* _buffer) {
```

```
    uint32_t result;
```

```
    uint8_t x10;
```

```
    uint8_t pos;
```

```
    result = 0;
```

```
    pos = 0;
```

```
    while (_buffer[pos] != 0) {
```

```
        pos++;
```

```
    }
```

```
    x10 = 0;
```

```
    pos--;
```

```
    while ((_buffer[pos] > 47) && (_buffer[pos] < 58) && (pos >= 0)) {
```

```
        result += (_buffer[pos]-48) * pow_10(x10);
```

```
        pos--;
```

```

    x10++;
}
return result;
}

```

//=====Функції роботи з АЦП

=====

// Ініціалізація АЦП:

```

void adc_init(void){
    ADCSRA = _BV(ADEN) | _BV(ADPS0) | _BV(ADPS1) | _BV(ADPS2); // prescaler
= 128
}

```

// Читання каналу АЦП:

```

uint32_t adc_read(uint8_t ch){
    ADMUX = _BV(REFS0) | (ch & 0x1F); // set channel (VREF = VCC)
    ADCSRA &= ~_BV(ADIF); // clear hardware "conversion
complete" flag
    ADCSRA |= _BV(ADSC); // start conversion
    while(ADCSRA & _BV(ADSC)); // wait until conversion complete
    return ADC; // read ADC (full 10 bits);
}

```

// Перетворюємо вхідні значення АЦП у мілівольти

```

uint32_t adc_mv(uint8_t ch){
    return 5000*adc_read(ch) / 0x3FF;
}

```

// Шукаємо датчик температури (DS18B20)

```

uint8_t search_sensors(void)

```

```

{
    uint8_t i;
    uint8_t id[OW_ROMCODE_SIZE];
    uint8_t diff, nSensors;
    nSensors = 0;
    for( diff = OW_SEARCH_FIRST;
        diff != OW_LAST_DEVICE && nSensors < MAXSENSORS ; )
    {
        DS18X20_find_sensor( &diff, &id[0] );

        if( diff == OW_PRESENCE_ERR ) {
            break;
        }
        if( diff == OW_DATA_ERR ) {
            break;
        }
        for (i=0;i<OW_ROMCODE_SIZE;i++)
            gSensorIDs[nSensors][i]=id[i];
        nSensors++;
    }
    return nSensors;
}

```

// Очищаємо буфер та встановлюємо лічильник символів в 0

```

void clear_bufferRX(void) {
    for (iRX=0;iRX<RX_BUF_SIZE;iRX++)
        bufferRX[iRX] = 0;
    iRX = 0;
}

```



```

// Таймер годинника та подій. Обробник переривань таймера.
ISR(TIMER1_OVF_vect) {
    uint8_t str[8];
    TCNT1 = 0x10000 - (F_CPU/1024/100);
    cli();
    cRX = uart_getc();
    if ((cRX != 255) && (cRX != 0)) {
        uart_putc(cRX);
        if ((cRX != 13) && (cRX != 10)) {
            bufferRX[iRX] = cRX;
            iRX++;
        }
        else {
            if ((strcmp(bufferRX, "SHOW") == 0) || (strcmp(bufferRX, "show") == 0)) { // show
                SHOW_FLAG = 1;
            }
            strncpy (str,bufferRX,7);
            str[7]= '\0';
            if ((strcmp(str, "SETTIME") == 0) || (strcmp(str, "settime") == 0)) { // settime
                time_sec = StrToInt(bufferRX);
                OK_FLAG = 1;
            }
            clear_bufferRX();
        }
    }
    if (iRX > RX_BUF_SIZE-1) {
        clear_bufferRX();
    }
    time_counter++;
    if (time_counter > 100) {

```

```

    time_counter = 0;
time_sec++;
if (time_sec > 86400) {
    time_sec = 0;
}
}
sei();
}

//=====Основна програма=====
int main( void )
{
char cRX;
float CurrentTemp;
uint32_t adc_value;
uint8_t nSensors, i;
uint8_t subzero, cel, cel_frac_bits;

LCDinit();
LCDdefinechar(gradus,0x0F);
LCDdefinechar(battery0,0x00);
LCDdefinechar(battery25,0x01);
LCDdefinechar(battery50,0x02);
LCDdefinechar(battery75,0x03);
LCDdefinechar(battery100,0x4);
LCDcursorOFF();
LCDclr();

sei(); // дозволяємо переривання програми

```

```

    adc_init();

nSensors = search_sensors();

uart_init (UBRR); // Ініціалізація uart
SHOW_FLAG = 0;
OK_FLAG = 0;

// Налаштування таймера
TCCR1B = ((1<<CS10) | (1<<CS12));
// Запуск таймера
TIMSK = (1<<TOIE1);
// Корекція лічильника, щоб отримувати рівно 1 сек
TCNT1 = 0x10000 - (F_CPU/1024/100);

while(1) { // Основний цикл програми
    clear_show_buffer();
    for ( i=nSensors; i>0; i-- ) {
        if ( DS18X20_start_meas( DS18X20_POWER_PARASITE,
&gSensorIDs[i-1][0] ) == DS18X20_OK ) {
            delay_ms(DS18B20_TCONV_12BIT);
            if ( DS18X20_read_meas( &gSensorIDs[i-1][0], &subzero, &cel,
&cel_frac_bits) == DS18X20_OK ) {
                CurrentTemp = cel_frac_bits;
                CurrentTemp = cel + CurrentTemp/10;

                if (subzero == 1)
                    CurrentTemp = -1*CurrentTemp;

                floatToStr(buffer, CurrentTemp, 5 ,1);
            }
        }
    }
}

```

```
LCDGotoXY((16-8*i) + 1,0);  
LCDstring(buffer,5);  
LCDsendChar(0x0F);
```

```
    str_to_show_buffer(buffer);  
    char_to_show_buffer(';');  
    }  
    }  
}
```

```
//=====Аналогові датчики =====
```

```
// Вологість %  
// PH=33,5(Vout - 0,773)  
adc_value = adc_mv(0);  
adc_value = (335*(adc_value - 773))/10000;  
if (adc_value > 100) adc_value = 100;  
LCDGotoXY(0,1);  
    intToStr(buffer, adc_value, 3);  
    ZeroToSpace(buffer,2);  
    LCDstring(buffer,3);  
    buffer[3] = 0;  
    str_to_show_buffer(buffer);  
    char_to_show_buffer(';');  
    LCDsendChar('%');  
  
// Тиск  
//adc_value = adc_read(1);  
//value = (111*(((adc_value*100000)/1024)+95))/100; // Значення в Па  
adc_value = adc_mv(2);
```

*adc\_value = 750064\*(adc\_value/5+95)/900000; // Значення в мм.рт.ст. (мрс)*

*K=7.50064*

*LCDGotoXY(10,1);*

*intToStr(buffer, adc\_value, 3);*

*ZeroToSpace(buffer,2);*

*LCDstring(buffer,3);*

*buffer[3] = 0;*

*str\_to\_show\_buffer(buffer);*

*CopyStringtoLCD(mmrst,14,1);*

*//Заряд батареї*

*adc\_value = adc\_read(1);*

*adc\_value = ((adc\_value -512)\*100)/410; //Значення в %. 0% - напруга батареї*

*LCDGotoXY(15,0);*

*cel = 0x00;*

*for (i=0; i<4; i++) {*

*if (adc\_value > i\*25) cel = i;*

*}*

*if (adc\_value > 85) cel = 0x04;*

*LCDsendChar(cel);*

*// Час*

*SecondsToTime (buffer, time\_sec);*

*LCDGotoXY(0,0);*

*LCDstring(buffer,8);*

*// Виведення даних в порт*

*if (SHOW\_FLAG == 1) {*

*SHOW\_FLAG = 0;*

```
    uart_puts("***");
    uart_puts(buffer_show);
    uart_puts("***\r\n");
}

// Встановлення годинника
if (OK_FLAG == 1) {
    OK_FLAG = 0;
    SecondsToTime (buffer, time_sec);
    uart_puts(buffer);
    uart_puts("\r\nOK\r\n");
}
}
}
```