

ЗМІСТ

Вступ	3
-------------	---

Частина 1. Програмування мікроконтролерних систем

1. Теоретичні основи програмування мікроконтролерних систем	9
Основні положення щодо мікроконтролерів	9
Мікроконтролери сімейства AVR	13
Засоби для програмування мікроконтролерів	28
Засоби для розробки програм та програмування мікроконтролерів	28
Програмування AVR мікроконтролерів на Асемблері	39
Програмування AVR мікроконтролерів на Сі	47
Програмування AVR мікроконтролерів у середовище Arduino IDE	53
2. Практикум з дисципліни	62
<i>Практична робота 1.</i>	
Вивчення властивості мікроконтролерів AVR	62
<i>Практична робота 2.</i>	
Вивчення роботи портів мікроконтролера AVR для виводу	68
<i>Практична робота 3.</i>	
Програмування мікроконтролера AVR для виводу	78
<i>Практична робота 4.</i>	
Вивчення роботи портів вводу-виводу мікроконтролера AVR	83
<i>Практична робота 5.</i>	
Дослідження роботи сервопривода та фоторезистора	85
<i>Практична робота 6.</i>	
Вивчення роботи послідовного порту мікроконтролера AVR	88
<i>Практична робота 7.</i>	
Вивчення роботи індикатора з семи сегментів	90
<i>Практична робота 8.</i>	
Вивчення роботи бездротового зв'язку, модуль Bluetooth HC-05	96
3. Лабораторний практикум	101
<i>Лабораторна робота 1.</i>	
Властивості мікроконтролерів AVR	101
<i>Лабораторна робота 2.</i>	
Створення мікроконтролерної системи	
вивчення роботи портів для виводу	103

Лабораторна робота 3.	
Створення мікроконтролерної системи для програмування з використанням мови середовища Arduino IDE	107
Лабораторна робота 4.	
Створення мікроконтролерної системи для вивчення роботи портів вводу–виводу мікроконтролера AVR.....	110
Лабораторна робота 5.	
Створення мікроконтролерної системи для дослідження роботи сервопривода та фоторезистора	113
Лабораторна робота 6.	
Створення мікроконтролерної системи для вивчення роботи послідовного порту мікроконтролера	116
Лабораторна робота 7.	
Створення мікроконтролерної системи для вивчення роботи індикатора з семи сегментів	119
Лабораторна робота 8.	
Створення мікроконтролерної системи для вивчення роботи бездротового зв'язку (модуль Bluetooth HC-05).....	122

Частина 2. Програмування робототехнічних систем

1. Теоретичні основи програмування робототехнічних систем	129
Вступ до програмування робототехнічних систем.....	129
Загальні відомості про робототехнічні системи	139
Класифікація роботів та робототехнічних систем і галузі їх застосування	146
Основи сенсорики систем керування робототехнічними системами ...	156
Приводи мехатронних систем	171
Математичний опис роботів.....	173
2. Практикум з дисципліни	181
Практична робота 1.	
Вивчення теоретичних основ програмування та симуляція роботи робототехнічної системи SUN TRACKER у середовищі Proteus.....	181
Практична робота 2.	
Вивчення теоретичних основ програмування робототехнічної системи SUN TRACKER з урахуванням розташування Сонця і можливостей системи	190
Практична робота 3.	
Вивчення теоретичних основ програмування робототехнічної системи MOEBIUS MBS-207 SUNFLOWER MAX 200	200
Практична робота 4.	
Вивчення теоретичних основ програмування робототехнічної системи LCD keypad Shield	205

Практична робота 5.	
Вивчення теоретичних основ програмування робототехнічної системи GhostDog у середовище Webots.....	212
Практична робота 6.	
Вивчення теоретичних основ програмування KONDO's KHR-2HV у середовище Webots	218
Практична робота 7.	
Вивчення теоретичних основ створення робототехнічної системи (
механічний маніпулятор у середовище Processing IDE	223
Практична робота 8.	
Вивчення теоретичних основ створення робототехнічної системи SUN TRACKER у середовище Processing IDE	233
3. Лабораторні роботи	240
Лабораторна робота 1.	
Програмування та симуляція роботи робототехнічної системи SUN TRACKER у середовище Proteus.....	240
Лабораторна робота 2.	
Програмування робототехнічної системи SUN TRACKER з урахуванням розташування Сонця і можливостей системи	243
Лабораторна робота 3.	
Програмування робототехнічної системи MOEBIUS MBS-207 SUNFLOWER MAX	247
Лабораторна робота 4.	
Програмування робототехнічної системи LCD keypad Shield	250
Лабораторна робота 5.	
Програмування робототехнічної системи GhostDog у середовище Webots	254
Лабораторна робота 6.	
Програмування KONDO's KHR-2HV у середовище Webots.....	258
Лабораторна робота 7.	
Створення робототехнічної системи механічний маніпулятор у середовище Processing IDE	262
Лабораторна робота 8.	
Створення робототехнічної системи SUN TRACKER у середовище Processing IDE	268
Література.....	273
Додаток А.....	275

Можливості і ціна мікроконтролерів дозволяють їм замінити практично всі цифрові мікросхеми, призначені для управління електронікою. У тих областях, де продуктивності не вистачає, використовуються модифіковані мікроконтролери з можливістю швидкого обчислення певних завдань (цифровий сигнальний процесор).

Властивості мікроконтролерів: обсяг пам'яті, частота роботи, напруга живлення, сімейство і розрядність. Пам'ять мікроконтролера для зберігання прошивання обмежена. Зазвичай її вистачає із запасом для зберігання самої програми та пов'язаних з нею даних, але не вистачає для зберігання файлів звичних для користувача комп'ютером. Потрібно чітко розуміти, що мікроконтролер має обмежені ресурси. Пам'ять мікроконтролера можна розширити, використовуючи зовнішні мікросхеми або пристрої зберігання даних. Загалом можна під'єднати до мікроконтролера вінчестер, але в цьому випадку дані не будуть розташовуватися в загальному просторі пам'яті, а будуть доступні через периферію.

Частота роботи є одним з основних параметрів швидкодії, кожна команда процесора виконує фіксоване число тактів. Частота роботи процесора означає кількість виконаних тактів в секунду.

Можливим є використання мікроконтролера не на максимальній частоті, це дозволяє знизити енергоспоживання (наприклад, коли висока продуктивність не потрібна). Напругу живлення (також впливає на енергоспоживання) важливо враховувати при з'єднанні мікроконтролера з периферійними пристроями. Цифрова логіка оперує цифрами 0 та 1, але в реальності вони постають у вигляді напружень 0 та VCC (напруга живлення).

Сімейства мікроконтролерів були розглянуті вище. Розрядність означає кількість біт в регістрах процесора. Або іншими словами кількість біт в змінних, з якими виконуються операції в процесорі. Розрядність сильно впливає на швидкодію. Зазвичай в задачах управління робота з великими числами не потрібна і вистачає 8-розрядного ядра. Але в обчислювальних задачах потрібна робота з 32-розрядними операціями.

Сімейства мікроконтролерів. На відміну від передових процесорів для комп'ютера, мікроконтролери випускають безліч фірм. Для зручності мікроконтролери ділять на сімейства, що володіють, наприклад, загальною системою команд або загальною архітектурою.

Найбільш відомі мікроконтролери наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Поширені сімейства мікроконтролерів

Назва	Розрядність, швидкість	Виробник	Опис
8051	8, н.-с.*	Atmel, Infineon, Silicon Labs, STMicroelectronics, Maxim, ...	Представник найбільш поширеного сімейства мікроконтролерів. За рахунок малої розрядності не підходить для обчислювальних задач, але достатньо добре справляється із завданнями управління
ARM	32 с.-в.	Analog Devices, Atmel, Luminary Micro, NXP, ...	Найбільш поширене сімейство високопродуктивних мікроконтролерів. Воно отримало таку популярність за рахунок простого ядра з малим енергоспоживанням
PIC	8 16 32 н.-в.	Microchip Technology	Сімейство мікроконтролерів з довгою історією, за час якої розрядність зростала і стала охоплювати практично весь спектр завдань
AVR	8 16 32 с.-в.	Atmel	Сімейство мікроконтролерів, відрізняється простотою і просунутою архітектурою. 32-розрядна частина сімейства претендує на вбивство архітектури ARM за рахунок більшої швидкодії і меншого енергоспоживання

Примітка. *Позначення швидкості: н. – низька, с. – середня, в. – висока.

Вибір сімейства мікроконтролерів залежить від поставленого завдання. Важливими параметрами є розрядність ядра, доступність програмного забезпечення, ціна, енергоспоживання. Швидкість ядра, кількість входів і виходів, можливості периферії (мікроконтролер – можна обирати в межах одного сімейства).

– XMEGA AVR (ATxmega256A3U, ATxmega256A3B) – старший клас, багато ресурсів, хороша продуктивність, підтримка USB, поліпшена безпека;

– 32-bit AVR UC3 (наприклад: AT32UC3L016, ATUC256L4U) – нові високопродуктивні 32-бітові мікроконтролери підтримують багато технологій і інтерфейсів, серед яких USB, Ethernet MAC, SDRAM, NAND Flash тощо.

Мікроконтролери AVR мають систему команд, яка налічує від 90 до 133 команд, залежно від моделі мікроконтролера. Для порівняння: PIC-мікроконтролери містять від 35 до 83 команд, залежно від сімейства. Більшість команд добре оптимізовані і виконуються за один такт, що дозволяє отримати хорошу продуктивність при невеликих витратах ресурсів та енергії.

Корпуси для AVR мікросхем. Мікроконтролери AVR випускають в корпусах DIP, SOIC, TQFP, PLCC, MLF, CBGA та ін. Приклади деяких корпусів наведені на рис. 1.3.



Рис. 1.3 – Корпуси мікроконтролерів AVR–DIP, SOIC, TQFP, PLCC

Як бачимо, корпуси для AVR мікроконтролерів є на будь-який смак і потреби. Можна вибрати недорогу мікросхему у корпусі DIP8 і змайструвати мініатюрну іграшку або ж якийсь простий пристрій, а можна купити більш функціональний і дорогий мікроконтролер в корпусі TQFP64 і під'єднати до нього різноманітні датчики, індикатори і виконавчі пристрої для виконання більш серйозних завдань.

Для програмістів-початківців AVR найбільш зручні мікросхеми в корпусі DIP, такі мікросхеми зручно паяти і вони дуже просто монтуються на різноманітних монтажних панелях, наприклад на Breadboard та ін. (рис. 1.4).

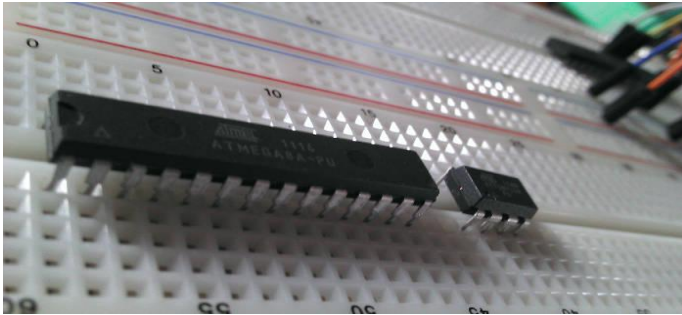


Рис. 1.4 – AVR мікроконтролери ATmega8 і ATtiny13 в корпусі DIP на макетній панелі (Breadboard)

З рис. 1.4 видно, що паяти нічого не потрібно, достатньо помістили мікроконтролер в гнізда макетної панелі і можна підключати до нього живлення, світлодіоди з резисторами, різні допоміжні мікросхеми, програматор та різну периферію.

Області застосування AVR мікроконтролерів. Мініатюрні мікроконтролери AVR сімейства "tiny" (див. рис. 1.5) використовують для побудови таких пристроїв:

- електронні іграшки;
- різні датчики в автомобільній промисловості;
- детектори диму і полум'я, датчики температур, вимірювачі різних величин;
- недорогі зарядні пристрої, індикатори напруги і струму;
- пульти управління для різноманітної побутової та промислової техніки;
- інші недорогі і мініатюрні електронні пристрої.



Рис. 1.5 – Мікроконтролери AVR сімейства "tiny"

Мікросхеми сімейства "mega", "xmega" та 32-bit AVR (рис. 1.6) застосовують в більш складних пристроях:

- робототехніка;
- супутникові навігаційні системи;
- функціональні пристрої живлення з програмуванням;
- складні дистанційні системи управління;
- мережеві пристрої;
- швидкодіючі системи для передачі і обробки даних;
- складна побутова техніка;
- пристрої введення і відображення інформації з тач-скринами (Touch-screen);
- інші багатофункціональні пристрої.

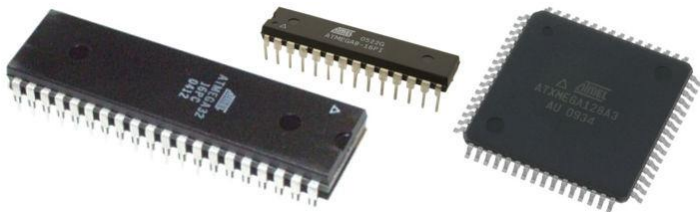


Рис. 1.6 – AVR мікроконтролери сімейств "mega" та "xmega"

Наведемо невеликий перелік прикладів і способів використання мікроконтролерів за категоріями застосування:

- **початківцям**: мигалка з світлодіодів, віртуальна гра в кості, таймер, лічильник натискань клавіші;
- **свято і подарунок**: звукова скринька, ліхтар-зірка, який інтелектуально змінює частоту миготіння, залежно від зовнішніх факторів, гірлянда для ялинки, світломузика;
- **реклама**: світлодіодне табло, рядок, що біжить з символами, аплікація з світлодіодів із заданим алгоритмом підсвічування;
- **робототехніка**: робот-пилосмок, керований по радіоканалу робот-іграшка, робот-сканер документів;
- **вимірювання**: частотомір, генератор сигналів, мультиметр, вимірювач температури, тиску, освітлення, саморобна метеостанція;
- **безпека**: розумна сигналізація з оповіщенням через стільниковий зв'язок, кодовий замок, електронний ключ для доступу до дверей, детектор диму, сигналізатор протікання води;
- **виробництво**: модуль управління верстатом з числовим програмним управлінням (ЧПУ), автоматичний контроль і облік речовин, керування опалювальним котлом;

– **зв'язок**: індикатор частоти, декодер сигналів, модуль управління радіостанцією, автоматичний пристрій повороту антени;

– **енергетика**: управління поворотом сонячних панелей, зарядний пристрій для акумуляторних батарей, вимірювач напруги.

Наведений перелік – це лише невелика частка з того широкого спектру можливих пристроїв, які містять у собі мікроконтролери. Раніше для створення пристрою на цифрових і аналогових мікросхемах потрібно було збирати в одне ціле велику кількість мікросхем і перевіряти логіку їх спрацювання та передбачити винятки (помилки і відмову обладнання).

З появою мікроконтролерів все стало набагато зручніше і простіше. На основі всього лише одного мікропроцесора ATtiny13, можна скласти пристрій для якого потрібно було б кілька десятків, а можливо і сотень мікросхем.

Спеціально для популяризації AVR мікроконтролерів були розроблені плати Arduino і додаткові модулі до них (рис. 1.7).



Рис. 1.7 – AVR мікроконтролери сімейств "mega" та "xmega"

На сьогодні вже не потрібно застосовувати логіку на цифрових мікросхемах. За всю логіку може відповідати один мікроконтролер, тепер є можливість сконцентруватись лише на розробці проекту (з'єднанні мікропроцесору з периферією) для вирішення потрібної задачі, а далі залишиться лише запрограмувати мікроконтролер. Тобто, основою частиною розробки є саме програмування, яке повинно враховувати безліч нюансів поведінки периферійних пристроїв.

Arduino – це електронний конструктор, платформа, яка спеціально розроблена для швидкої і зручної розробки різних пристроїв автоматизації і управління.

До платформи входить комплекс програм і апаратних складових – друкованих плат з компонентами, центральну і головну роль в яких відіграє плата з мікроконтролером AVR – ATmega328, ATmega168, ATmega2560, ATmega32U4, ATtiny85 та ін.

Архітектура та структурна схема AVR мікроконтролерів.

Мікроконтролер зсередини – це комп'ютер зі своїм обчислювальним пристроєм, постійною і динамічною пам'яттю, портами введення-виведення і різною периферією (рис. 1.8).

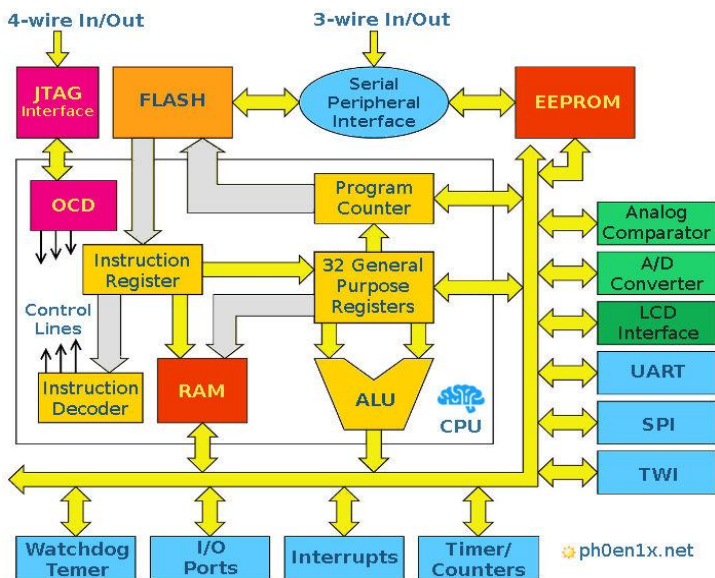


Рис. 1.8 – Структурні схеми AVR мікроконтролера

З рис. 1.8 можна визначити, з яких блоків складається мікроконтролер і як вони пов'язані між собою. Усередині він містить:

- швидкодіючий процесор з RISC-архітектурою;
- FLASH-пам'ять;
- EEPROM-пам'ять;
- оперативну пам'ять RAM;
- порти введення / виводу;
- периферійні та інтерфейсні модулі.

Розглянемо коротко, що зображено на блоках у схемі:

- JTAG Interface (Joint Test Action Group Interface) – інтерфейс внутрішньо-схемного налагодження (4 дроти);
- FLASH-пам'ять для збереження програми, що може бути перепрограмована;
- Serial Peripheral Interface (SPI) – послідовний периферійний інтерфейс (3 дроти);