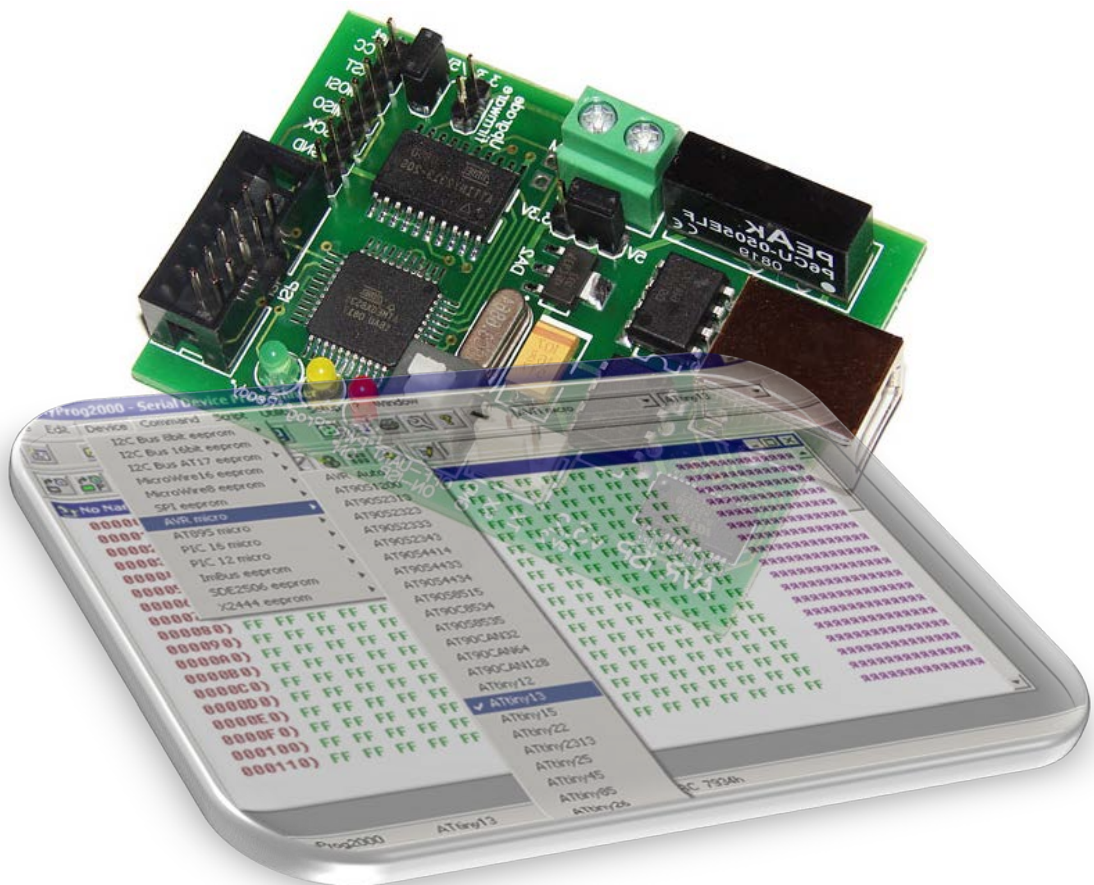


# ПРОГРАМУВАННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ AVR



Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

# **ПРОГРАМУВАННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ AVR**

**Навчальний посібник**

Вінниця  
ВНТУ  
2018

УДК 004.451:004.354.7–022.513](075.8)

П78

Автори:

**С. М. Цирульник, О. Д. Азаров, Л. В. Крупельницький, Т. І. Трояновська**

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 7 від 22.02.2017 р.)

Рецензенти:

**Л. Б. Ліщинська**, доктор технічних наук, професор

**В. А. Лужецький**, доктор технічних наук, професор

**А. А. Яровий**, доктор технічних наук, професор

**Програмування мікроконтролерів AVR : [навчальний посібник] /**  
П78 С. М. Цирульник, О. Д. Азаров, Л. В. Крупельницький, Т. І. Трояновська. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 111 с.

У навчальному посібнику комплексно розглянуто та актуалізовано апаратно-програмні засоби підтримки мікроконтролерів AVR, що має вагомe значення для розробників вбудованих систем.

Посібник призначено для студентів спеціальностей 123 – «Комп'ютерна інженерія» та 125 – «Кібербезпека» під час вивчення дисциплін «Архітектура комп'ютерів», «Комп'ютерна схемотехніка» та суміжних апаратних дисциплін.

**УДК 004.451:004.354.7–022.513](075.8)**

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ ПІДТРИМКИ ПРОЕКТУВАННЯ ТА ВІДЛАГОДЖЕННЯ СИСТЕМ .....	6
1.1 Середовища розробки програмного забезпечення для мікроконтролерів AVR .....	6
1.1.1 Компілятори асемблера.....	6
1.1.2 Компілятори мови C .....	7
1.2 Інтегроване середовище розробки програм AVR Studio .....	8
1.3 Робота в інтегрованому середовищі розробки програм WinAVR.....	13
1.4 Робота в інтегрованому середовищі розробки ICCAVR.....	14
1.5 Робота в інтегрованому середовищі розробки CodeVisionAVR.....	22
1.6 Робота в інтегрованому середовищі розробки AVR Builder .....	25
1.7 Робота в інтегрованому середовищі розробки FLOWCODE .....	30
1.8 Робота в програмному симуляторі Proteus VSM .....	32
1.9 Програмне забезпечення для програмування мікроконтролерів.....	46
1.9.1 Програмування у середовищі AVR Studio .....	46
1.9.2 Програмування у середовищі PonyProg2000 .....	48
1.9.3 Програмування у середовищі AVRDUDE та SinaProg .....	52
Питання для самоконтролю .....	55
2 АПАРАТНІ ЗАСОБИ ПІДТРИМКИ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ AVR .....	56
2.1 Внутрішньосхемні відлагоджувачі.....	56
2.2 Засоби розробки для мікроконтролерів фірми Atmel .....	57
2.3 Апаратні засоби підтримки проектування та відлагодження систем .....	59
2.3.1 Логічні аналізатори та осцилографи змішаних сигналів.....	59
2.3.2 Схемні емулятори і схемні симулятори.....	60
2.3.3 Плати розвитку .....	63
Питання для самоконтролю .....	66
3 ПРОГРАМУВАННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ AVR .....	67
3.1 Загальна інформація.....	67
3.1.1 Захист коду і даних .....	67
3.1.2 Конфігураційні комірки .....	69
3.1.3 Ідентифікатор .....	73
3.1.4 Комірки калібрування.....	74
3.1.5 Організація пам'яті програм і даних .....	75

3.2. Програмування по послідовному каналу.....	75
3.2.1 Перемикання в режим програмування .....	80
3.2.2 Управління процесом програмування FLASH-пам'яті .....	81
3.2.3 Управління процесом програмування EEPROM-пам'яті.....	81
3.3 Паралельне програмування.....	81
3.3.1 Перемикання в режим паралельного програмування .....	85
3.3.2 Знищення кристала .....	86
3.3.3 Програмування FLASH-пам'яті .....	86
3.3.4 Програмування EEPROM-пам'яті .....	87
3.3.5 Програмування конфігураційних комірок .....	87
3.3.6 Програмування, читання комірок захисту та конфігурації .....	88
3.3.7 Читання комірок ідентифікатора і комірок калібрування .....	88
3.4 Програмування по інтерфейсу JTAG .....	89
3.4.1 Використання інтерфейсу JTAG	
для програмування кристала .....	89
3.4.2 Команди JTAG для програмування.....	90
3.4.3 Алгоритм програмування.....	92
3.5 Самопрограмування мікроконтролерів набору Mega .....	98
3.6 Розробка комутатора панелі ZIF для програмування	
мікроконтролерів Atmel.....	103
Питання для самоконтролю .....	107
ВИСНОВКИ.....	108
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	109

## ВСТУП

Мікроконтролери (МК) можна зустріти практично в будь-якому технічному завданні, де потрібно вирішувати завдання вимірювання, оброблення інформації та управління. Це може бути електропобутова техніка, вимірювальні прилади або засоби комунікації, а також такі складні об'єкти управління, як автомобілі або літаки. Коло таких завдань дуже широке, починаючи від увімкнення звукової або світлової сигналізації та закінчуючи складною математичною обробкою й аналізом інформації, що надходить від різних давачів, з подальшим формуванням керуючих впливів на об'єкт управління.

Одним з найбільш популярних наборів мікроконтролерів, які застосовуються в системах оброблення даних, контролю і управління, є пристрої, що випускаються фірмою Microchip та відомі під аббревіатурою PIC. Однак, останнім часом корпорація Atmel (США) стала виробляти набір мікросхем на ядрі AVR, яке має більш досконалу архітектуру й забезпечує мікроконтролерам цього набору високу швидкість та низьке енергоспоживання, що дає їм відчутну перевагу, порівняно з контролерами PIC [15, 22, 24]. До того ж, цінова політика корпорації Atmel є більш привабливою для розробників таких систем. Порівняно з пристроями PIC, МК AVR мають більш розвинену систему команд, що налічує до 133 інструкцій, їхня продуктивність наближається до 1 MIPS/МГц, а flash-пам'ять програм має можливість внутрішньосхемного програмування. Архітектура ядра AVR оптимізована так, що дозволяє використовувати мову високого рівня C. На відміну від пристроїв PIC, де одна операція виконується за 4 такти, МК AVR можуть виконувати команди в кожному такті, тобто в 4 рази швидше на тій же тактовій частоті. А що менша частота, то менше енергоспоживання мікроконтролера.

Серед великих виробників мікроконтролерів потрібно виокремити такі фірми, як: Texas Instruments, Dallas Semiconductor, Philips, STMicroelectronics, Mitsubishi Electronics та ін. Однак корпорація Atmel є нині одним з визнаних світових лідерів у виробництві виробів сучасної мікроелектроніки. Вона добре відома на світовому ринку електронних компонентів. Заснована в 1984 році фірма Atmel визначила для своєї продукції такі сфери додатків: телекомунікації та мережі, обчислювальна техніка, вбудовані системи контролю та управління, побутова техніка та автомобільний транспорт [15, 22]. Тому методи та засоби програмування мікроконтролерів AVR є актуальними.

У навчальному посібнику комплексно розглянуті та актуалізовані апаратно-програмні засоби підтримки мікроконтролерів AVR, що має вагомое значення для розробників вбудованих систем.

## ВИСНОВКИ

Системи з мікроконтролерами належать до класу цифрових обчислювальних систем, тому методологія їхнього проектування має містити елементи апаратної та програмної підтримки. Увесь технологічний процес створення програмного продукту можна розбити на кілька етапів. Черговість проектування полягає в складанні технічного завдання, розробці та деталізації алгоритму, наборі лістинга програми, компілюванні, моделюванні, програмуванні та реальній роботі. За результатами моделювання або реальної роботи можуть бути змінені вихідні дані технічного завдання, відкоригований алгоритм функціонування.

Набір тексту лістинга, компілювання, моделювання та програмування можуть здійснюватися як окремими комп'ютерними програмами, так і в комплексі.

Компілятори 8-бітових МК є вузькоспеціалізовані комп'ютерні програми. Вони можуть бути автономними або входити до складу пакетів, що мають власну графічну оболонку, редактор тексту, засоби моделювання та програмування. Переважна більшість таких комплексів комерційні, платні.

При розробці програмного забезпечення мікроконтролерів необхідно звернути увагу на безкоштовні програмні засоби (AVR Studio, WinAVR) підтримки проектування та налагодження систем на мікроконтролерах AVR, робота з якими економить гроші та забезпечує ліцензовану чистоту кінцевого програмного продукту.

Обираючи інструментальні засоби налагодження, доцільно брати до уваги: підтримка можливо більшої кількості мікроконтролерів; різноманітність вбудованих інтерфейсів (RS-232, IEEE1284/LPT, USB) та додаткових компонентів, що розширюють функціональні можливості; наявність на платі поля для макетування і контактів для безпосереднього підключення до виводів приладу; можливість підключення додаткових модулів; універсальне живлення.

МК AVR при програмуванні застосовують такі технології: низьковольтне послідовне програмування (ISP); низьковольтне шлейфове програмування з можливістю відлагодження (JTAG); низьковольтне однопровідне програмування з можливістю відлагодження (debugWire); високовольтне паралельне програмування (HVPP), самопрограмування (BootLoader). Кількість виводів мікроконтролерів для їхнього програмування зводиться до мінімуму. Для програмування достатньо ліній синхронізації, однієї – двох ліній для передачі послідовним кодом команд, адрес й даних та лінії для подачі сигналу, який переводить мікроконтролер у режим програмування. Тому для програмування мікроконтролерів AVR усе частіше використовують інтерфейс USB та низьковольтне послідовне програмування.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абакумов А. Коммутатор панели ZIF для программирования микроконтроллеров Atmel / А. Абакумов // Радио. – 2014. – № 2. – С. 20–21.
2. Белов А. В. Разработка устройств на микроконтроллерах AVR: шагаем от «чайника» до профи / А. В. Белов. – СПб. : Наука и Техника, 2013. – 528 с.
3. Величко В. Є. Використання технології візуального програмування в університетській освіті засобами вільного програмного забезпечення / В. Є. Величко // Вісник Житомирського державного університету імені Івана Франка. – 2014. – № 4. – С. 51–55.
4. Внутрисхемное программирование [Электронный ресурс]. – Режим доступа :  
[http://kit-e.ru/articles/circuit/2003\\_8\\_114.php](http://kit-e.ru/articles/circuit/2003_8_114.php).
5. Гурин А. Программно-инструментальные средства разработки и отладки / А. Гурин, П. Перевозников // Chip News. – 2004. – № 4 (87). – С. 12–16
6. Гёлль П. Как превратить персональный компьютер в универсальный прогама тор / Гёлль П. – М. : ДМК ПРЕСС, 2002. – 168 с.
7. Гладун М. Комплект Formula Flowcode Buggy як засіб підвищення інтересу до навчання / М. Гладун // Інформатика та інформаційні технології в навчальних закладах. – 2015. – № 4. – С.11–16.
8. Евстифеев А. В. Микроконтроллеры AVR семейства Mega. Руководство пользователя / Евстифеев А. В. – М. : Издательский дом «Додэка-XXI», 2007. – 592 с.
9. Краткий учебный курс PROTEUS [Электронный ресурс] / Русское руководство для начинающих. – Режим доступа :  
<http://proteus123.narod.ru>.
10. Лебедев М. Б. CodeVisionAVR: пособие для начинающих / Лебедев М. Б. – М. : Додэка-XXI, 2008. –592 с.
11. Максимов А. Моделирование устройств на микроконтроллерах с помощью программы ISIS из пакета PROTEUS VSM / А. Максимов // Радио. –2005. –№ 4, 5, 6. – С. 30–33, 31–34, 30–32.
12. Меандр [Электронный ресурс] / Урок 5. Программирование AVR микроконтроллеров. – Режим доступа :  
<http://meandr.org>.
13. Методичні вказівки до виконання студентами-магістрантами наукового напрямку економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. В. О. Козловський. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 12 с.
14. Островский К. В. Сравнительный анализ средств разработки и отладки программного обеспечения для различных типов МК / К. В. Островский // Радиоэлектроника и информатика. – 2007. – № 2. – С. 79–84.
15. Офіційна web-сторінка ATMEL [Електронний ресурс]. – Режим доступу :  
<http://www.atmel.ru>.



16. Программирование на языке C для AVR и PIC микроконтроллеров / Ю. А. Шпак. – К: «МК-Пресс», 2006. – 400 с.– ISBN 966-8806-16-6.
17. Протасов А. Г. Инструментальное средство для изучения микроконтроллеров семейства AVR / А. Г. Протасов, А. Л. Дугин // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Приладобудування. – 2015. – Вип. 50(2). – С. 134–138.
18. Радиокот [Электронный ресурс] / «РЕАНИМАТОР» для AVR. – Режим доступа :  
<http://radiokot.ru/lab/controller/48>.
19. Радиокот [Электронный ресурс] / Proteus – первое знакомство. – Режим доступа :  
<http://radiokot.ru/start/soft/proteus/01>.
20. Ревич Ю. В. Практическое программирование микроконтроллеров Atmel AVR на языке асемблера / Ю. В. Ревич. – СПб. : БХВ-Петербург, 2008. – 384 с.
21. Рюмик С. М. 1000 и одна микроконтроллерная схема / С. М. Рюмик. – М. : Додэка-XXI, 2010. – 356 с.
22. Соммер У. Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freeduino / Соммер У. – СПб. : БХВ-Петербург, 2012. – 256 с.
23. Хартов В. Я. Микроконтроллеры AVR. Практикум для начинающих / Хартов В. Я. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012. – 280 с.
24. Хлюпин Н. Два универсальных прогаматора/ Н. Хлюпин // Радио. – 2006. – № 6. – С. 28–30.
25. Цирульник С. М. Візуальне програмування мікроконтролерів у системі FLOWCODE / С. М. Цирульник, А. О. Метелиця, В. А. Вознюк // VI Міжнародна науково-практична конференція «Актуальні проблеми наукового й освітнього простору в умовах поглиблення євроінтеграційних процесів» (14–15 травня 2015 р., Мукачєво, Україна). – Мукачєво: Вид-во «Карпатська вежа», 2015. – С. 374–375.
26. Цирульник С. М. Застосування програми ISIS пакету Proteus VSM при вивченні курсу «Мікропроцесорна техніка» // С. М. Цирульник, В. К. Задорожний // Матеріали XIII міжнародної конференції з автоматизації управління (Автоматика 2006). – Вінниця : Універсум-Вінниця. – 2007. – С. 526–530.
27. Цирульник С. М. Проектування мікропроцесорних систем / С. М. Цирульник, Г. Л. Лисенко. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 191 с.
28. Easyelectronics [Электронный ресурс] / AVR. Учебный курс. Трктат о прогаматорах. – Режим доступа :  
<http://easyelectronics.ru/category/arm-uchebnyj-kurs>.
29. GetChip [Электронный ресурс] / 024-Что такое Fuse bits AVR микроконтроллеров. – Режим доступа :  
<http://www.getchip.net/posts/024-что-такое-fuse-bits-AVR-mikrokontrollerov>.
30. GetChip [Электронный ресурс] / 057-Программируем AVR-микроконтроллеры USBtiny + AVRdude + SinaProg. – Режим доступа :  
<http://www.getchip.net/posts/057-programmiruem-AVR-mikrokontrollery-usbtiny-AVRdude-sinaprog>.

*Навчальне видання*

**Цирульник Сергій Михайлович  
Азаров Олексій Дмитрович  
Крупельницький Леонід Віталійович  
Трояновська Тетяна Іванівна**

## **ПРОГРАМУВАННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ AVR**

Навчальний посібник

Рукопис оформлено: Т. Трояновська

Редактор: О. Ткачук

Оригінал-макет виготовлено: О. Ткачук

Підписано до друку 31.05.2018.  
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman.  
Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 6,41.  
Наклад 50 (1-й запуск 1–20) пр Зам. № 2018-104.

Видавець та виготовлювач  
Вінницький національний технічний університет,  
інформаційний редакційно-видавничий центр.  
ВНТУ, ГНК, к. 114.  
Хмельницьке шосе, 95,  
м. Вінниця, 21021.  
Тел. (0432) 65-18-06.  
**press.vntu.edu.ua;**  
*E-mail:* kivc.vntu@gmail.com.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.