

УДК 004.383

ББК 32.973

Б68

**Р е ц е н з е н т ы:** доктор техн. наук, профессор кафедры Вычислительной и прикладной математики Рязанского государственного радиотехнического университета *А. Н. Шестёркин*, доктор техн. наук, профессор, заведующий кафедрой Гуманитарных и естественнонаучных дисциплин Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ (Липецкий филиал) *В. Н. Малыш*

**Благодаров А. В.**

Б68

Программирование микроконтроллеров семейства 1986BE9х компании Миландр. – Горячая линия – Телеком, 2020. – 232 с.: ил.

**ISBN 978-5-9912-0584-9.**

Рассмотрены основы программирования на языке Си отечественных 32-разрядных микроконтроллеров семейства 1986BE9х фирмы Миландр. Основное внимание уделено работе со встроенными в микроконтроллеры периферийными устройствами: портами ввода-вывода, АЦП, ЦАП, аппаратными таймерами-счетчиками, часами реального времени. Предполагается использование отладочной платы для микроконтроллера K1986BE92QI, системы программирования Keil  $\mu$ Vision и операционной системы реального времени Keil RTX. Приведены задания для практической работы, методика их выполнения, примеры программ и контрольные вопросы для самопроверки.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 09.03.04 – «Программная инженерия», а также других направлений и специальностей, изучающих основы программирования микроконтроллеров, будет полезно специалистам.

**ББК 32.973**

*Адрес издательства в Интернет WWW.TECHBOOK.RU*

**Благодаров Андрей Витальевич**

## **Программирование микроконтроллеров семейства 1986BE9х компании Миландр**

Компьютерная верстка И. А. Благодаровой

Обложка художника А. Н. Клейн

Подписано в печать 26.03.2016. Формат 60×88/16. Уч. изд. л. 10,75.

Тираж 500 экз. (4-й завод – 30 экз.). Печать цифровая. Изд. №160584.

ООО «Научно-техническое издательство «Горячая линия – Телеком»

ISBN 978-5-9912-0584-9

© А. В. Благодаров, 2016, 2020

© Издательство «Горячая линия – Телеком», 2020

## Содержание

<b>Список сокращений .....</b>	<b>3</b>
<b>Введение .....</b>	<b>5</b>
<b>Благодарности .....</b>	<b>8</b>
<b>Установка программного обеспечения .....</b>	<b>9</b>
<b>Тема № 1. Знакомство с отладочной платой для микроконтроллера K1986BE92QI и средой программирования Keil µVision .....</b>	<b>11</b>
1.1. Подготовка программного обеспечения к работе .....	11
1.2. Микроконтроллер K1986BE92QI .....	11
1.3. Отладочная плата 1986EvBrd_64 .....	12
1.4. Подготовка отладочной платы к работе .....	17
1.5. Среда программирования Keil µVision .....	18
1.6. Структура проекта.....	31
Задание .....	45
Контрольные вопросы .....	46
<b>Тема № 2. Работа с портами ввода-вывода общего назначения .....</b>	<b>47</b>
2.1. Подготовка к работе .....	47
2.2. Порты ввода-вывода общего назначения .....	48
2.3. Конфигурирование линий ввода-вывода .....	52
2.4. Работа с цифровым входом .....	60
2.5. Работа с цифровым выходом .....	60
2.6. Особенности работы со светодиодами .....	62
2.7. Особенности работы с механическими кнопками .....	65
Задание .....	74
Контрольные вопросы .....	75
<b>Тема № 3. Работа с аналого-цифровым преобразователем .....</b>	<b>76</b>
3.1. Подготовка к работе .....	76
3.2. Основы работы с цифровым мультиметром .....	78
3.3. Понятие аналого-цифрового преобразователя .....	81
3.4. Настройка аналого-цифрового преобразователя .....	84
3.5. Режим одиночного преобразования по одному каналу с прерыванием по окончании преобразования .....	90
3.6. Режим одиночного преобразования по одному каналу с прерыванием по окончании преобразования .....	93
3.7. Измерение температуры микроконтроллера с помощью АЦП ....	97
3.8. Использование прямого доступа к памяти при работе с АЦП ....	99
3.9. Настройка прямого доступа к памяти для работы с АЦП .....	102

3.10. Режим многократного преобразования с автоматическим переключением нескольких каналов и использованием прямого доступа к памяти .....	109
Задание.....	114
Задания повышенной сложности .....	115
Контрольные вопросы .....	116
<b>Тема № 4. Работа с цифро-аналоговым преобразователем .....</b>	<b>117</b>
4.1. Подготовка к работе .....	117
4.2. Понятие цифро-аналогового преобразователя .....	117
4.3. Настройка цифро-аналогового преобразователя .....	120
4.4. Работа с цифро-аналоговым преобразователем .....	121
4.5. Генерации аналогового сигнала заданной формы с помощью ЦАП и прямого доступа к памяти.....	122
4.6. Основы работа с осциллографом .....	124
4.7. Настройка прямого доступа к памяти для работы с ЦАП .....	134
Задание.....	140
Контрольные вопросы .....	141
<b>Тема № 5. Использование широтно-импульсной модуляции .....</b>	<b>142</b>
5.1. Подготовка к работе .....	142
5.2. Понятие широтно-импульсной модуляции .....	143
5.3. Проблема выбора частоты импульсов ШИМ .....	149
5.4. Реализация ШИМ на базе МК .....	153
5.5. Пример с использованием АЦП и потенциометра для плавного изменения скважности импульсов ШИМ .....	162
Задание.....	165
Контрольные вопросы .....	166
<b>Тема № 6. Использование аппаратных таймеров-счетчиков для измерения частоты импульсов .....</b>	<b>167</b>
6.1. Подготовка к работе .....	167
6.2. Измерение частоты импульсов .....	169
6.3. Усреднение результатов измерения частоты по периоду .....	174
6.4. Одновременное измерение частоты импульсов по частоте и по периоду.....	175
6.5. Измерение частоты импульсов по частоте с использованием МК.....	177
6.6. SVC–функции в операционной системе RTX .....	185
6.7. Измерение частоты импульсов по периоду с использованием МК.....	187
Задание.....	193
Контрольные вопросы .....	194

<b>Тема № 7. Использование батарейного домена.....</b>	<b>195</b>
7.1. Подготовка к работе .....	195
7.2. Система тактирования микроконтроллеров семейства 1986BE9х .....	196
7.3. Батарейный домен микроконтроллеров семейства 1986BE9х ...	204
7.4. Часы реального времени .....	205
7.5. Таймер на базе часов реального времени .....	207
7.6. Метки времени в формате UNIX timestamp .....	212
7.7. Будущие проблемы при использовании меток времени формата UNIX timestamp.....	216
7.8. Электронные часы на основе RTC .....	216
7.9. Регистры аварийного сохранения .....	218
7.10. Пример проекта с аварийным сохранением данных в батарейном домене.....	219
Задание .....	221
Контрольные вопросы .....	222
<b>Заключение .....</b>	<b>223</b>
<b>Приложение.....</b>	<b>224</b>
<b>Литература .....</b>	<b>227</b>