

Микроконтроллер на базе RISC-V для применения в устройствах бесперебойного питания

УДК 004.31 | ВАК 2.2.2

А. Андреев¹

Микроконтроллеры, разработанные АО «ПКК Миландр», востребованы сегодня в различных приложениях. Отвечая на запросы потребителей, компания постоянно совершенствует свою продукцию: появляется дополнительный функционал, увеличивается количество разнообразной периферии, осуществляется переход на другие микропроцессорные ядра, расширяется набор инструкций. Помимо этого, изменяется номенклатура предлагаемых корпусов. Все эти требования диктует современный рынок гражданской электроники. В статье представлена новая разработка компании – 32-разрядный RISC-V-микроконтроллер MDR1218FI, который предназначен для применения в устройствах бесперебойного питания.

При разработке нового микроконтроллера было принято решение о переходе с популярных микропроцессорных ядер компании ARM на открытую архитектуру RISC-V. Эта архитектура востребована сегодня благодаря доступности и возможности создавать более дешевые решения с аналогичным функционалом. Такой подход позволяет осуществить импортозамещение и использовать лицензированные микропроцессорные ядра российской компании «Клаудбеар» (ООО «КБ»).

Микроконтроллер MDR1218FI построен на базе RISC-V-ядра BR-35IS0 с набором инструкций RV32IAMFDCN_B, поддерживает скалярную криптографию и расширение XGOST, содержит L1-кэши данных и инструкций, каждый объемом по 8 Кбайт (рис. 1). Рабочая частота процессора достигает 200 МГц, производительность на наборе синтетических тестов Coremark составила порядка 4.4, а Dhrystone – порядка 2.4 при измерении скорости процессоров во встраиваемых системах. Архитектура RISC-V пока достаточно молода по сравнению с популярными и давно применяемыми процессорными ядрами, поэтому компиляторы программ с языка C и C++ в набор инструкций для RISC-V не содержат продвинутые возможности по оптимизации кода и наборам поставляемых математических и других библиотек. Для безболезненного перехода на новые компиляторы без необходимости оптимизации исходного кода в микроконтроллере MDR1218FI объем памяти разных типов был увеличен по сравнению с предыдущими разработками.

В текущей конфигурации в состав микроконтроллера входит 640 кбайт флэш-памяти с широкой шиной 512 бит и ECC (9 бит на каждые 128 бит кода и 32 бита адреса), 128 кбайт TCM-памяти, а также загрузочное ОТР объемом 16 кбайт. По мере совершенствования компиляторов такой большой объем памяти может стать избыточным, однако он позволяет разделить хранение boot-загрузчика, основной программы и пользовательских данных. А встроенные аппаратные средства защиты и разграничения доступа по ключу обеспечивают защиту требуемых участков кода от считывания и модификации. Достигается такая безопасность тремя путями: блокировкой доступа интерфейса JTAG по ключу в ОТР, выделением 128 кбайт защищенного кода флэш-памяти с доступом по ключу и применением модуля защиты физической памяти (PMP). Если первые два способа – это отработанные и проверенные решения, реализованные в предыдущих микроконтроллерах «ПКК Миландр», то модуль PMP – достаточно новое решение, которое рассмотрим подробнее.

Для обеспечения безопасной обработки данных и предотвращения сбоев желательно ограничить физические адреса, доступные программному обеспечению. Дополнительный модуль защиты физической памяти (PMP) предоставляет регистры управления в M-режиме, позволяющие задавать права доступа к физической памяти (чтение, запись, выполнение) для каждой области физической памяти.

Степень детализации настроек контроля доступа PMP зависит от платформы и может варьироваться в зависимости от области физической памяти, но стандартная

¹ АО «ПКК Миландр», начальник ОРЦИС, andreev.a@milandr.ru.

кодировка RMP поддерживает области размером до четырех байт. Привилегии определенных областей могут быть заданы программно – например, некоторые области могут быть видны только в М-режиме, но не на уровнях с более низкими привилегиями.

RMP-проверки применяются ко всем обращениям, когда ядро работает в U-режиме, а также к операциям загрузки и сохранения. Дополнительно RMP-проверки могут применяться к доступам в М-режиме, и в этом случае сами регистры RMP блокируются, так что даже программное обеспечение М-режима не может изменить их без сброса ядра. По сути, RMP может предоставлять разрешения для U-режима, которые по умолчанию отсутствуют, и отзывать разрешения для М-режима, который по умолчанию имеет полные разрешения. Нарушения RMP всегда фиксируются ядром.

Применение микроконтроллера в устройствах бесперебойного питания (УБП) обусловлено прежде всего наличием в нем специализированной аналоговой периферии,

без которой применение универсальных микроконтроллеров проблематично. В качестве основных аналоговых блоков, которые востребованы в приложениях УБП, следует отметить восемь компараторных сборок (два компаратора и два небуферизированных 12-битных ЦАП) с пилотгенераторами; три АЦП последовательного приближения с разрешением 12 бит и скоростью оцифровки до 3 Мвыб./с; два буферизированных ЦАП с разрешением 12 бит и скоростью работы до 500 кГц. Применение микроконтроллера в приложениях УБП также было бы затруднительно без продвинутой цифровой периферии – десяти ШИМ-таймеров с возможностями синхронизации между собой с задаваемым фазовым сдвигом и аппаратной блокировки ШИМ (Trip Zone). Остальная периферия дополняет уже имеющуюся, необходимую для других приложений, и позволяет не ограничиваться только системами с УБП. Микроконтроллер оснащен интерфейсом USB 2.0 OTG (HS/FS) со встроенным приемопередатчиком USB 2.0 PHY, интерфейсами I2C и I2C_SMBus, четырьмя

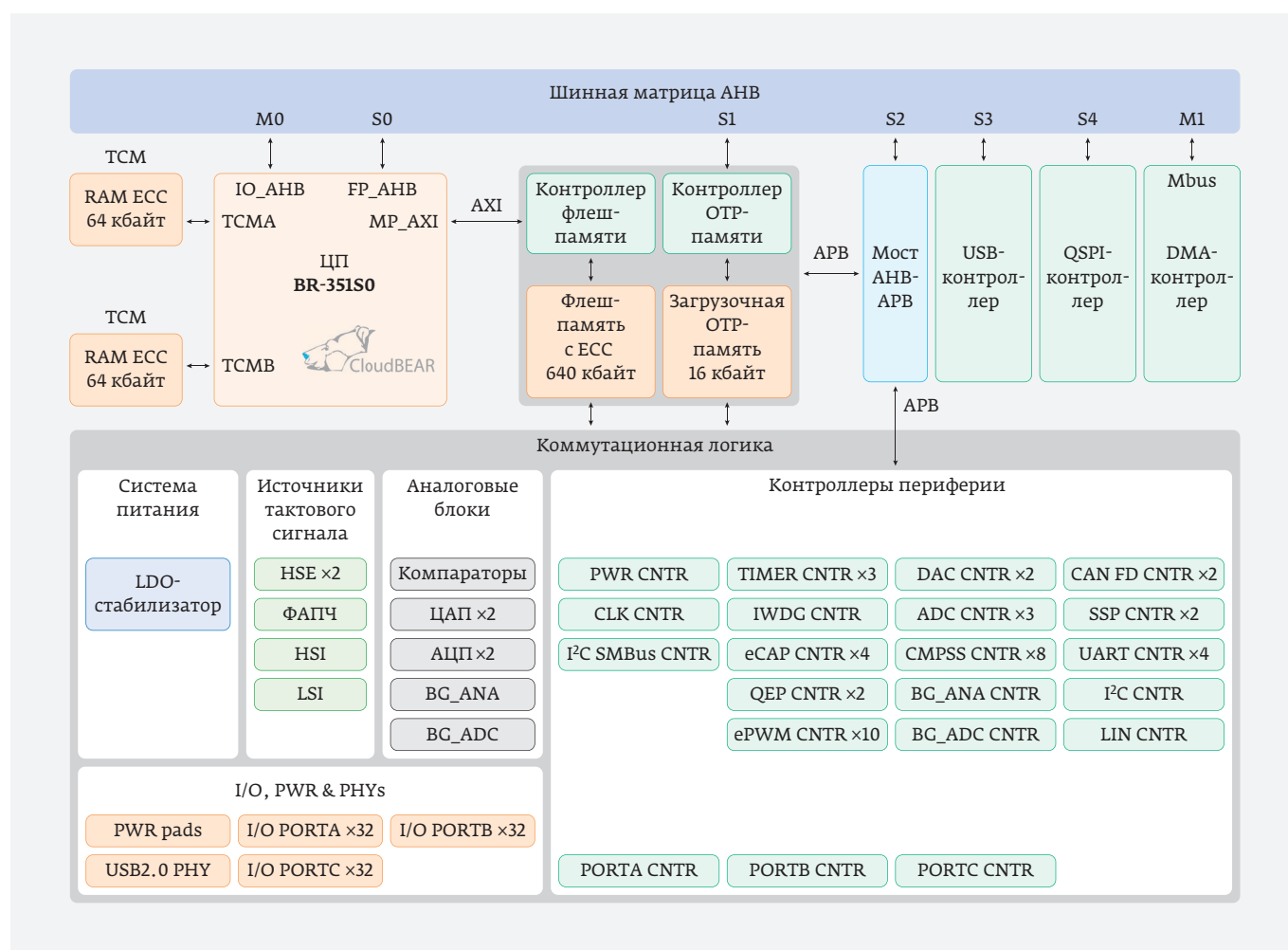


Рис. 1. Структурная схема микроконтроллера MDR1218FI

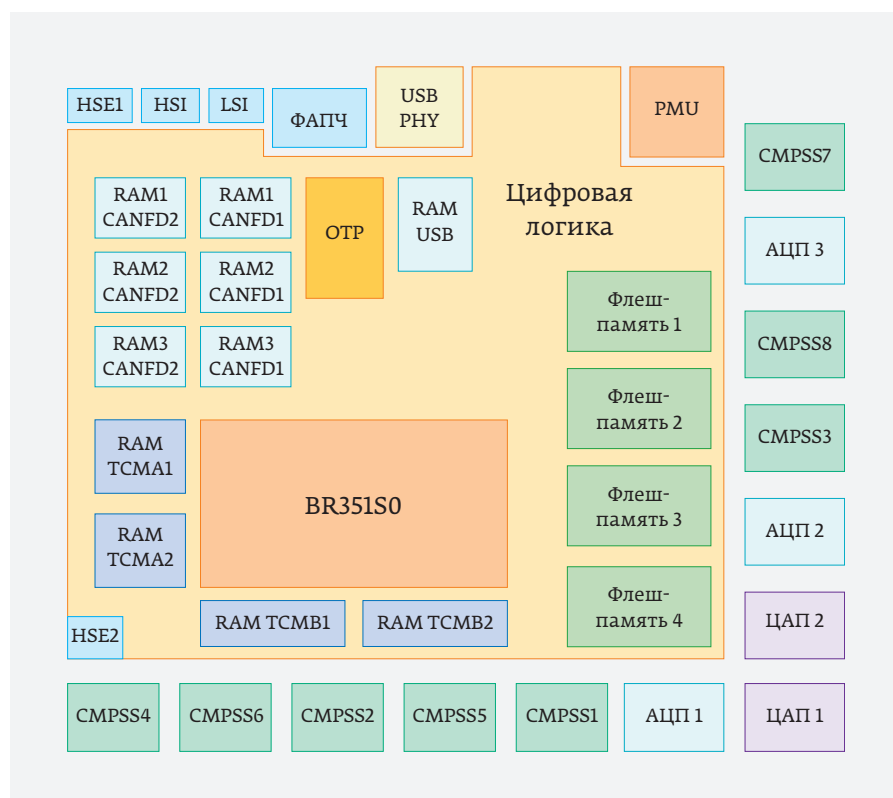


Рис. 2. Компоновка кристалла микроконтроллера MDR1218FI

UART-интерфейсами, LIN-интерфейсом, двумя SSP-интерфейсами, двумя интерфейсами CAN FD, двумя блоками квадратурных преобразователей, четырьмя блоками захвата, тремя 32-битными таймерами общего назначения с функциями IC / OC / PWM, одним независимым сторожевым таймером и одним системным таймером. Для тактирования встроенной периферии и аналоговых блоков в микроконтроллере предусмотрены встроенные генераторы 8-МГц HSI и 32-кГц LSI; внешние генераторы 8–16 МГц HSE1 и 25-МГц HSE2, ФАПЧ для системного синхросигнала.

При наличии такой обширной периферии остро встает вопрос количества доступных пользователю выводов (портов) и одновременно доступных функций на портах. Микроконтроллер содержит до 96 портов ввода / вывода с функцией прерывания. Все выводы помимо функции порта имеют еще до пятнадцати альтернативных функций, задаваемых программно, а также заранее определенные отключаемые аналоговые функции. В некоторых приложениях УБП нет необходимости применения всего функционала микроконтроллера, поэтому потребителям предлагается два варианта корпуса: QFN144 в MDR1218FI и QFN64 в MDR1218FII. В 64-выводном корпусе ограничено применение аналоговых блоков: доступно всего пять компараторных сборок из восьми возможных; допустимо

применение двух АЦП с разными каналами, а третий АЦП не имеет собственных каналов. USB-интерфейс в 64-выводном корпусе отсутствует, хотя остальная цифровая периферия полностью доступна, но ее одновременное использование ограничено по сравнению с 144-выводным корпусом. С учетом большого числа выводов и аналоговых блоков, размеры которых в большинстве случаев не сильно масштабируются при переходе на более тонкие технологические нормы, размеры кристалла микроконтроллера составляют 5,9 × 5,9 мм для 90-нм технологии. Компоновка кристалла с размещением всех блоков представлена на рис. 2.

Несмотря на популярность микроконтроллеров «ПМК Миландр», основным пожеланием от пользователей всегда оставалось снижение потребления – если не в рабочем режиме, то хотя бы в режимах пониженного энергопотребления. В выпускаемой компанией линейке микроконтроллеров представлены малопотребляющие в рабочем ре-

жиме устройства, но все равно это десятки мА. Пользователи же хотят видеть потребление на уровне десятков, а то и единиц мкА, что предъявляет более жесткие требования при разработке как аналоговых, так и цифровых схем. В аналоговых схемах – это прежде всего уменьшение статического тока по высоковольтному питанию в выключенном режиме на уровне десятков или сотен нА. Если аналоговых блоков в микроконтроллере много, то потребление на уровне всего одного мкА для одного блока в статическом режиме приводит к общему потреблению на уровне от 10 до 40 мкА, что неприемлемо для пользователя. Если к этому прибавить еще потребление цифровых схем в статическом режиме, даже при выключенной частоте тактирования, то общее потребление микроконтроллера будет достигать уже сотен мкА. Поэтому при разработке нового микроконтроллера были предприняты меры по понижению потребления аналоговых схем, а также осуществлено разделение на выключаемые домены питания цифровых схем (рис. 3).

Конечно, режим отключения тактирования реализован и в этом микроконтроллере, но кроме того было выделено два домена с независимым отключением питания. Первый домен состоит из микропроцессорного ядра, флэш-памяти, ОТП, DMA, TCM RAM, а также различных АНВ- и АРВ-мостов для доступа ядра к периферии (рис. 4).

Домен может быть выключен полностью, либо могут отключаться частично банки памяти TCM RAM. Второй домен включает в свой состав все цифровые интерфейсы и таймеры. Этот домен может быть выключен полностью, либо могут выключаться по отдельности сборки из однотипных интерфейсов и таймеров, например, все UART, все SSP, все три таймера общего назначения и т. п. При этом оставшаяся включенной периферия может продолжать работать и генерировать запросы прерывания, которые обеспечивают пробуждение процессорного ядра и включение питания необходимых для дальнейшей работы периферийных блоков. На аналоговых блоках

высоковольтное IO-питание (1,8–3,6 В) не выключается, поэтому они продолжают потреблять, но их потребление в статическом режиме сведено до минимума. Из-за высокого статического потребления блоков OTP и USB PNY высоковольтное IO-питание с них снимается при выключении соответствующей периферии или домена.

Несмотря на инженерно-технические решения, направленные на снижение потребления, при работе на максимальной частоте 200 МГц и задействовании полного функционала ток потребления микроконтроллера может составлять от 200 до 250 мА, что предъявляет достаточно высокие требования как к источнику питания,

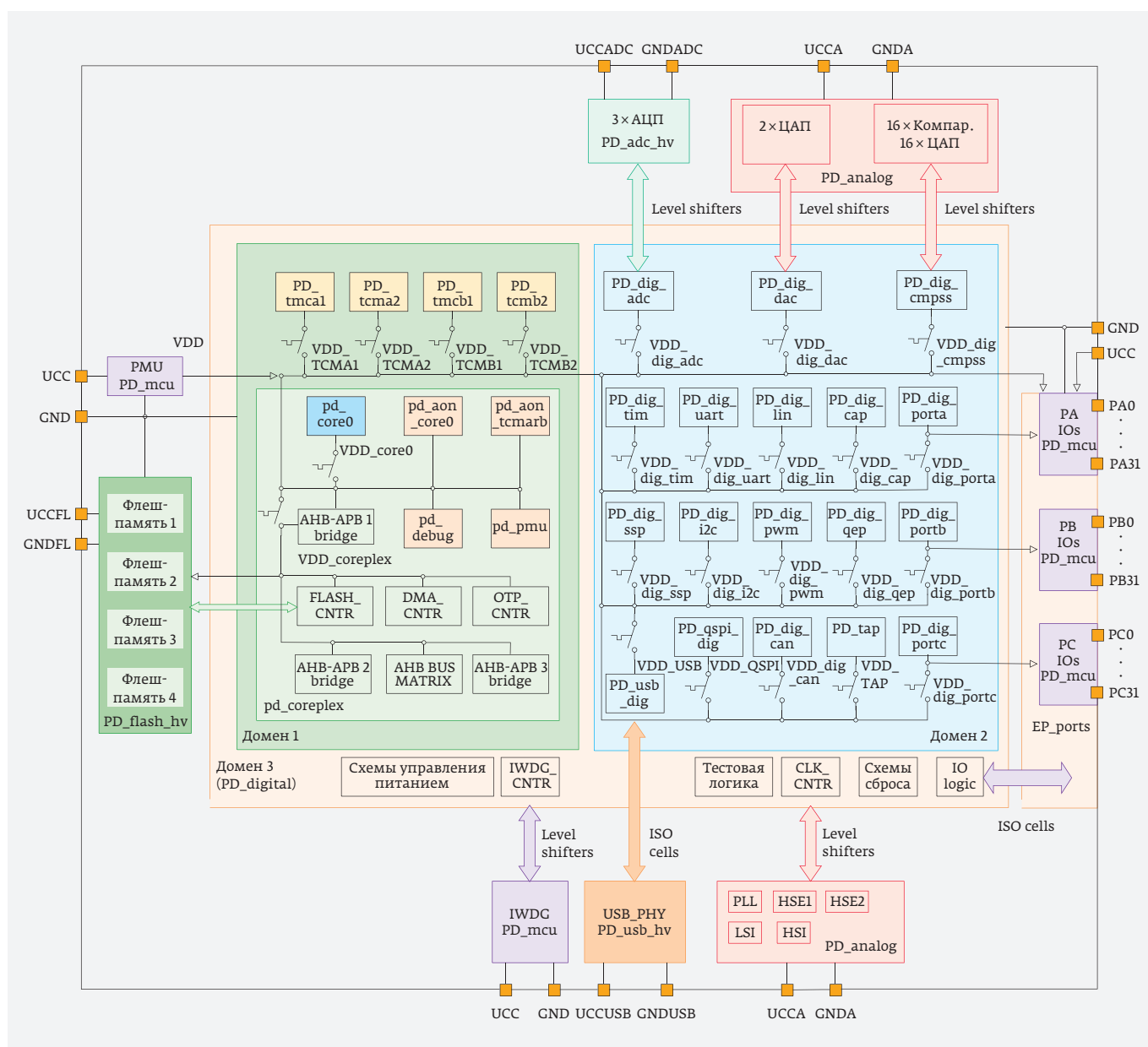


Рис. 3. Домены питания цифровых схем микроконтроллера MDR1218FI

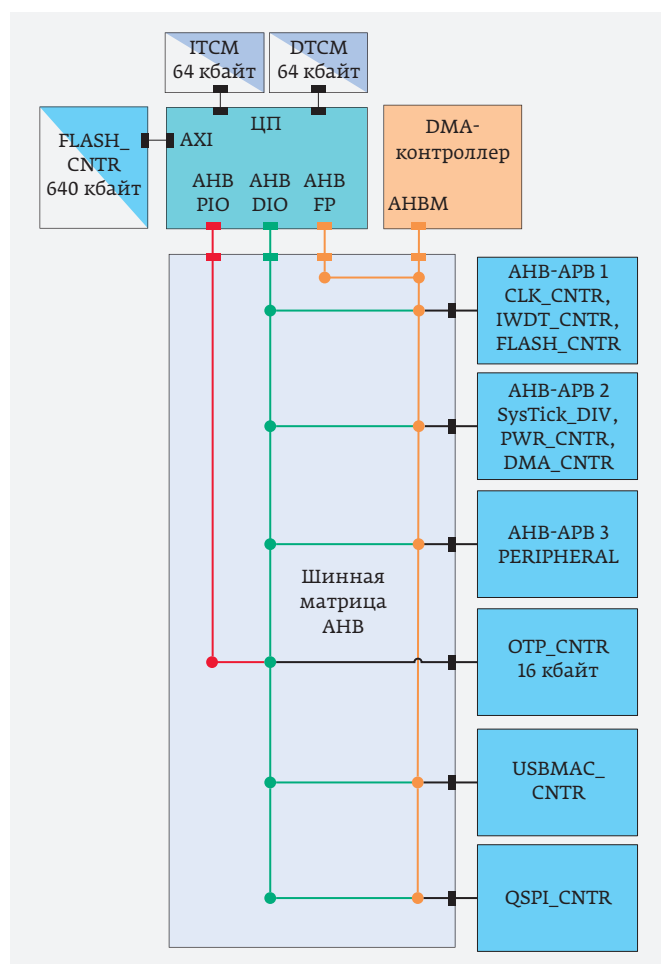


Рис. 4. Шинная матрица АНВ и АНВ-/АРВ-мосты микроконтроллера MDR1218FI

так и к отводу тепла от микросхемы. Для упрощения этой задачи в микроконтроллере в обоих типах корпусов предусмотрена дополнительная теплоотводящая контактная площадка (EXPOSED PAD), которая частично решает проблему отвода тепла от корпуса микросхемы. Особенно это важно при высоких температурах окружающей среды, ближе к 85 °С, при которых нагрев кристалла внутри корпуса достигает до 105 °С. Такой перегрев относительно температуры окружающей среды потребовал заложить запас по работоспособности во все цифровые и аналоговые схемы, в результате чего в полном объеме обеспечено их функционирование при такой температуре. Микросхема работоспособна также и при низких температурах до -40 °С.

В заключение, следует отметить, что АО «ПКК Миландр» всегда учитывает и внедряет пожелания пользователей в своих новых перспективных разработках. Маркетинговые службы проводят сбор и статистический анализ данных по потребностям рынка микроконтроллеров и требуемых объемов продаж. Приоритетом компании остается именно микроконтроллерное направление, как самое перспективное и востребованное. Представленный микроконтроллер, по нашему мнению, отвечает поставленным перед ним задачам и позволяет заказчикам эффективно использовать его возможности в своих приложениях. ●

