

# Новый микроконтроллер AVR32 серии UC3L корпорации Atmel: производительность 32-разрядного МК, энергопотребление — 8-разрядного

Елена ЛАМБЕРТ  
elena@efo.ru

**AVR32 UC3 — это 32-разрядная архитектура разработки 2007 года, ориентированная на широкий круг задач, в которых требуется применение малопотребляющего быстродействующего 32-разрядного микроконтроллера с высокой степенью интеграции, снабженного Flash-памятью и ОЗУ [1].**

## Общая информация

Ядро процессора AVR32UC3 является упрощенной версией ядра AVR32AP7 и ориентировано на рынок изделий, где традиционно применяются процессоры класса ARM7 и Cortex-M3. Благодаря тому, что ядро AVR32UC3 разрабатывалось совсем недавно, в нем учтены недостатки выпущенных ранее решений и требования современного рынка к 32-разрядным процессорам общего назначения. В микроконтроллере используется RISC-набор команд, содержащий DSP-инструкции.

На сегодня серийно выпускаются микро-схемы серий AT32UC3A0/1, AT32UC3A3, AT32UC3B, AT32UC3L и AT32UC3C.

## Энергопотребление

Корпорация Atmel стремится найти новые и инновационные пути улучшения продукции. Рынок требует снижения энергопотребления, при этом одновременно необходимо увеличение производительности.

Технология PicoPower, позволяющая снизить энергопотребление, была разработана

корпорацией Atmel в результате нескольких лет исследований и успешно применена в 8-разрядных микроконтроллерах AVR. Сейчас Atmel использует эту технологию и для 32-разрядных микроконтроллеров в серии UC3L. Также для снижения нагрузки на центральный процессор, а значит, и для снижения энергопотребления, помимо технологии PicoPower в UC3L, используются специальные периферийные блоки: система событий, DMA-контроллер и аппаратный блок Qtouch для обслуживания сенсорных кнопок. Еще одна особенность, позволяющая снизить энергопо-

требление, — это функция SleepWalking. Все эти возможности реализованы в новой серии микроконтроллеров AT32UC3L (табл. 1).

AT32UC3L — серия микроконтроллеров, имеющая большой потенциал для приложений с батарейным питанием. Механизмы энергосбережения в AT32UC3L продуманы самым тщательным образом: предусмотрено семь различных режимов энергосбережения и выход для подключения резервного источника питания микросхемы. Atmel в документации на микроконтроллер приводит следующие параметры энергопотребления: менее

Таблица 1. Ключевые особенности UC3L, позволяющие снизить энергопотребление

Технология PicoPower	Динамическое изменение тактовой частоты. Спящий WDT. Микропотребляющие часы реального времени, 32 кГц. Низкие токи утечки. Питание от 1,6 В
Аппаратный модуль емкостных сенсоров (CAT)	Поддерживает режимы QTouch и QMatrix, может быть источником пробуждения из энергосберегающих режимов
Функция SleepWalking	Работа периферийных модулей в энергосберегающих режимах
Система событий	Периферийные блоки передают сигналы друг другу без участия процессорного ядра. Меньшее количество запросов прерываний. Позволяет процессору больше время находиться в энергосберегающих режимах
DMA-контроллер	Использование DMA сокращает время обмена данными между памятью и периферией, между отдельными областями памяти, а также между различными периферийными блоками. Центральное процессорное ядро не принимает участия в процессе передачи данных, вся обработка и сопровождение потока лежит на контроллере прямого доступа к памяти

Таблица 2. Среднее энергопотребление микроконтроллера UC3L в различных режимах

Режим	Устройства, активные в данном режиме							Питание ядра, В	Среднее энергопотребление
	Процессорное ядро	Шина	Периферия	Генератор и цифровая АПЧ	Часы реального времени	RC-генератор	Монитор питания		
Run	X	X	X	X	X	X	X	1,8	165 мкА/МГц
Idle		X	X	X	X	X	X	1,8	92 мкА/МГц
Frozen			X	X	X	X	X	1,8	58 мкА/МГц
Standby				X	X	X	X	1,8	47 мкА/МГц
Stop					X	X	X	1,8	37 мкА
Deep Stop					X	X		1,8	23 мкА
Static с RTC					X			1,8	5,3 мкА
Static								1,8	4,7 мкА
Shutdown с RTC					X			0	600 нА
Shutdown								0	9 нА



600 нА в режиме Shutdown с включенными часами реального времени (RTC), а в режиме ShutDown без RTC — до 9 нА. Средние значения энергопотребления серии UC3L можно посмотреть в таблице 2.

В активном режиме энергопотребление ядра не превышает 0,48 мВт/МГц, а производительность микроконтроллера составляет 64 DMIPS на частоте 50 МГц и до 36 DMIPS на частоте 25 МГц. Диапазон напряжений питания AT32UC3L — 1,62–3,6 В.

По сравнению с микроконтроллерами предыдущего поколения энергопотребление UC3L снижено на 90% в режиме Shutdown (до 9 нА). Это значение ниже, например, чем ток утечки танталового конденсатора в цепи питания микроконтроллера. Энергопотребление в активном режиме снижено до 165 мкА/МГц, что на 45% лучше, чем у микроконтроллеров предыдущего поколения. Высокая удельная производительность (DMIPS/МГц) ядра UC3L позволяет также снижать энергопотребление за счет того, что та же производительность достигается на более низкой рабочей частоте, чем у других микроконтроллеров.

Благодаря технологии PicoPower обеспечивается снижение энергопотребления как в активном режиме, так и в спящих режимах. Из новинок следует отметить режим SleepWalking («хождение во сне») для периферийных узлов, при котором они могут работать при ультранизком потреблении во время энергосберегающих режимов и быть источником пробуждения процессорного ядра при установленных условиях. На данный момент такой режим реализован для АЦП. Например, при изменении уровня сигнала на входе АЦП принимает решение, будить процессорное ядро или нет, в зависимости от того, попадает ли значение сигнала на входе в заданное окно.

## Характеристики

В серии UC3L появились новые блоки, отсутствующие у предыдущих моделей: система событий (аналогично реализованной в 8-разрядных микроконтроллерах Atmel AVR XMEGA), детектор исчезновения тактового сигнала, блок измерения частоты, часы реального времени с режимом календаря и 36 каналов ШИМ по одному на каждую линию ввода/вывода. Серия UC3L содержит скоростной 12-разрядный 8-канальный АЦП с частотой дискретизации до 1 500 000 выборок/с. Общие параметры серии приведены в таблице 3.

Рассмотрим функции некоторых блоков, приведенных на рис. 1.

### Система событий (Peripheral Event System)

Эта система позволяет периферийным блокам посылать информацию о событии без участия процессорного ядра. Система выполняет повторяющиеся задачи по перена-

Таблица 3. Параметры микроконтроллеров серии AT32UC3L

Спецификация	16–64 кбайт Flash-памяти 8–16 кбайт ОЗУ 4 USART, SPI, 2 I <sup>2</sup> C, I <sup>2</sup> S АЦП 9-канальный, 12-разрядный ШИМ на всех линиях ввода/вывода Напряжение питания 1,62–3,6 В Корпуса TQFP48, QFN48, TLLGA48	
Ключевые особенности	Технология PicoPower Аппаратный модуль емкостных сенсоров (CAT) Режим FlashVault Система событий Контроллер прямого доступа (DMA)	
Другие важные характеристики	Тактовый сигнал с цифровой АПЧ Детектор исчезновения тактового сигнала Блок измерения частоты Часы реального времени с календарем 8-канальный компаратор Порт для считывания трассы (AUX)	
Аппаратные и программные средства разработки	IDE	AVR32 Studio (распространяется свободно)
	Компиляторы языка C/C++	GCC (распространяется свободно) или IAR
	Набор библиотек	AVR32 Software Framework (распространяется свободно)
	Внутрисхемная отладка	AVR Dragon / JTAGICE2 / AVRONE
	Отладочная плата	STK600(+STK600-TQFP48) / UC3L-EK

правлению этих событий. Таким образом, исключаются занимающие много времени прерывания по событию, что освобождает время для выполнения процессором других задач и позволяет ядру дольше оставаться в энергосберегающем режиме.

### Память

Микроконтроллеры содержат 16–64 кбайт Flash-памяти, 8–16 кбайт ОЗУ.

Flash-память разделена на страницы, которые объединены в 16 областей. Каждая область может быть защищена своим fuse-битом от случайной модификации.

В серии UC3L реализованы дополнительные возможности: User Page, серийный номер, резервные регистры.

- Страница пользователя (User Page) — специальная область для хранения данных пользователя размером 256 байт, находящаяся во Flash-памяти. Эта область не стирается командой chip erase; запись и стирание User Page осуществляется специальным набором команд. Доступ для чтения страницы осуществляется таким же образом, как и для всей Flash-памяти. User Page идеально подходит для хранения данных калибровки, серийных номеров, MAC-адресов и т. д., то есть данных, которые необходимо сохранять в течение всей жизни устройства.
- Уникальный серийный номер записывается в устройство фирмой Atmel и не может быть изменен пользователем. Этот номер позволяет получить данные о номере лота, номере пластины и координатах чипа на пластине.
- В ОЗУ доступны 4 резервных регистра (Backup registers) объемом 32 бит для хранения данных во время энергосберегающих режимов. Информация будет сохранена и при отключении напряжений питания ядра, линий ввода/вывода, регулятора напряжения.

### Защита памяти

Микроконтроллер содержит блок защиты памяти (Memory Protection Unit, MPU). Для обеспечения высокого уровня защиты блок MPU используется совместно с блоком защиты доступа (Secure Access Unit, SAU).

Во многих системах ошибочный доступ к периферийному узлу может привести к внезапному отказу. Примером такого периферийного узла может служить ШИМ, используемый для управления различными

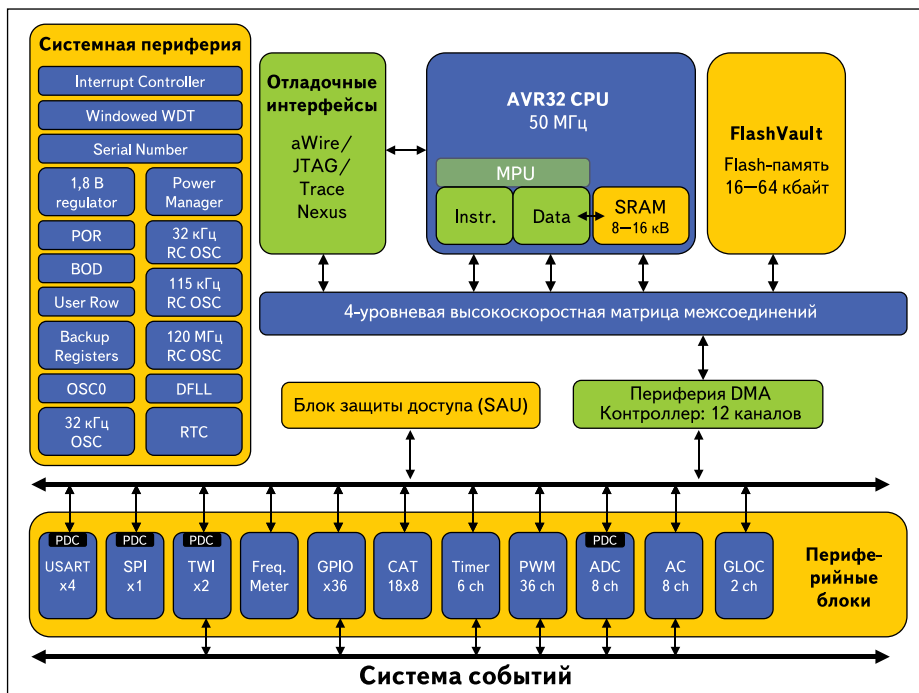


Рис. 1. Блок-схема микроконтроллера серии UC3L

типами двигателей. Если в регистр управления ШИМ записано ошибочное значение, двигатель может выйти из строя, и такой сбой может привести к повреждению всего устройства. Тем не менее, регистр управления ШИМ должен обновляться, например, для изменения периодичности импульсов для ускорения двигателя. Поэтому требуется механизм защиты регистра управления ШИМ от случайного доступа, вызванного, например, ошибкой в программном коде, или от сбоя процессора, вызванного, например, мощной электромагнитной помехой.

В серии UC3L для этих целей используется MPU. Блок защиты памяти устанавливается для ограничения доступа к определенным адресам оперативной памяти. MPU делит пространство памяти на области и определяет условия доступа к каждой из них. Ограничения доступа могут быть, например, следующие: разрешено чтение/запись, если процессорное ядро в привилегированном режиме, и только чтение, если оно находится в пользовательском режиме. Области могут быть разного, но достаточно большого размера, например от 1 кбайт адресного пространства и больше. Доступ к каждой области обычно управляется режимом процессорного ядра, то есть привилегированным или пользовательским режимами. Такой простой механизм управления часто недостаточно гибкий для встраиваемых микроконтроллеров.

Поэтому для обеспечения дополнительной защиты данных совместно с блоком защиты памяти используется блок защиты доступа (Secure Access Unit, SAU). Блок защиты памяти (MPU) устанавливает защиту области памяти, в то время как блок защиты доступа (SAU) обеспечивает безопасность канала в определенную область памяти, которая защищена MPU. Блок SAU содержит набор каналов, отображенных на адресное пространство высокоскоростной шины (HSB).

Режим FlashVault для защиты программного кода во Flash-памяти позволяет программировать и блокировать специальную часть Flash-памяти от дальнейшего изменения и копирования, создавая, таким образом, надежную область для хранения программного кода. Устройство с запрограммированным загрузчиком или уникальной библиотекой может быть отправлено конечному заказчику, который может записывать свой собственный код в оставшуюся Flash-память. Также, например, в защищенную область может быть записан ключ для шифрования данных. Защищенную область памяти заказчик может запускать только на выполнение кода, но скопировать код он не сможет. При этом область памяти, защищенная механизмами FlashVault, может быть стерта командой chip erase, как и вся энергонезависимая память (за исключением User Page).

**Источники тактирования**

Микроконтроллеры UC3L имеют 6 источников тактирования: три внутренних RC-генератора на 32, 115 и 120 кГц, два генератора от внешнего кварцевого резонатора 32 кГц, 3–16 МГц и цифровую АПЧ (DFLL).

Основным источником тактирования является генератор OSC0, работающий с внешним кварцевым резонатором на частоты 3–16 МГц.

После сброса процессорное ядро тактируется сигналом 115 кГц от встроенного RC-генератора. Процессор может запускаться на этом генераторе после включения питания, а когда генератор OSC0 становится стабильным, переключается на него. Время запуска генератора 115 кГц очень мало, точность составляет 3%, генератор калибруется при производстве.

Основная функция другого встроенного RC-генератора на 120 МГц — поддержка отладки по интерфейсу aWire, а также он может использоваться для тактирования периферийных узлов.

Цифровая АПЧ (DFLL) заменила уже устаревавшую аналоговую ФАПЧ. Цифровая АПЧ может использовать внутренний RC-генератор 32 кГц в качестве источника опорной частоты, что позволяет избавиться от внешнего высокочастотного кварцевого резонатора. В отличие от стандартных ФАПЧ, цифровая АПЧ имеет меньшее время запуска (10 мкс) и захвата частоты (100 мкс). Диапазон выходного сигнала составляет от 40 до 150 МГц. Цифровая АПЧ необходима для получения тактового сигнала при передаче данных по интерфейсу UART и другим асинхронным интерфейсам.

Встроенный RC-генератор на 32 кГц используется для встроенного блока управления энергопотреблением и как источник тактового сигнала для периферии.

Серия UC3L одна из первых в семействе AVR32 UC3 может тактироваться внешним сигналом частоты 32 кГц. Внешний генератор на 32 кГц идеально подходит для тактирования часов реального времени (RTC). При использовании этого генератора для тактирования RTC в режиме shutdown энергопотребление микроконтроллера составляет 600 нА.

Часы реального времени позволяют создавать календарь и будильник. Любой источник может использоваться для тактирования часов реального времени. Часы реального времени программно калибруются с точностью до 1 ppm.

**Детектор исчезновения тактового сигнала (Clock Failure Detector)**

Этот механизм позволяет переключаться с основного источника тактирования на встроенный RC-генератор 115 кГц, когда определяется сбой основного источника. Например, это может произойти в случае, когда внешний кварцевый резонатор выбран в качестве основного источника такти-

рования, но он неработоспособен. Детектор исчезновения тактового сигнала определяет отключение сигнала по одному переднему фронту; если он отсутствует, то считается, что произошел сбой.

**Блок измерения частоты (Frequency Meter)**

Этот блок определяет частоту, сравнивая ее с другим тактовым сигналом известной частоты (рис. 2). Данная функция может быть использована для измерения внешней частоты или калибровки RC-генератора.

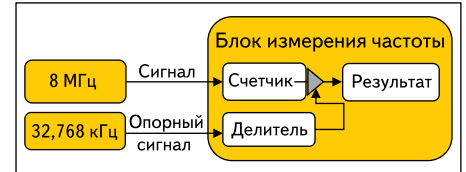


Рис. 2. Схема блока измерения частоты

**Модуль емкостных сенсоров (Capacitive Touch Module, CAT)**

Модуль емкостных сенсоров осуществляет измерения на внешних емкостных сенсорах. Для них не требуются внешние механические компоненты, а используются стандартные конденсаторы и элементы разводки, что значительно упрощает разработку устройств.

Модуль может работать в режимах QTouch и QMatrix. Режим QTouch нужен для реализации небольшого количества сенсоров (кнопок), где на каждый датчик требуется 2 линии ввода/вывода микросхемы (рис. 3). Режим QMatrix подходит для большего количества сенсоров, так как позволяет организовать матрицу X на Y элементов, при использовании только (X+2Y) линий ввода/вывода микроконтроллера (рис. 4). Возможно совместное использование технологий QTouch и QMatrix.

При использовании технологии QTouch с помощью модуля емкостных сенсоров можно организовать сенсоры в две группы. Каждая группа может быть сконфигурирована отдельно, что позволяет организовать различные виды емкостных сенсоров, такие как кнопки, кольцевые и линейные слайдеры. Модуль также дает возможность организовать один автономный сенсор при подключении в режиме QTouch, который может реагировать на нажатие или приближение без вмешательства процессорного ядра.

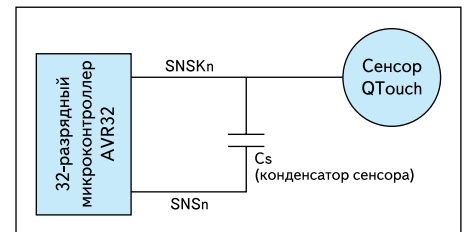


Рис. 3. Режим QTouch для подключения сенсорной кнопки

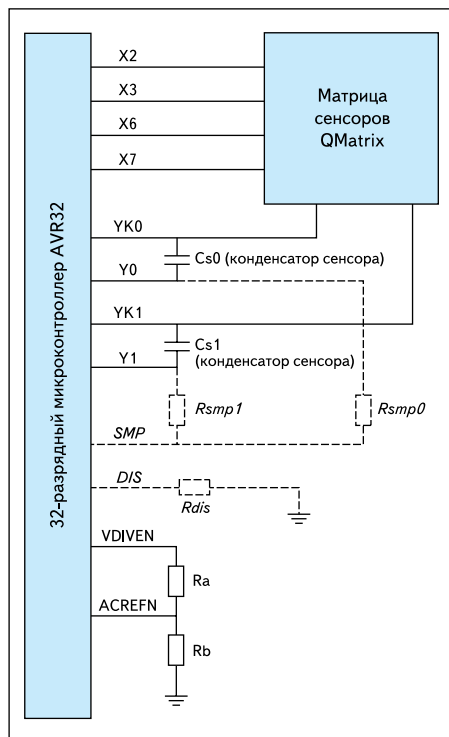


Рис. 4. Режим QMatrix для подключения матрицы сенсорных элементов

### Контроллер комбинаторных логических функций (Glue Logic Controller, GLOC)

Блок контроллера комбинаторных логических функций состоит из нескольких 4-входовых логических функциональных преобразователей. Каждый из входов любого функционального преобразователя может быть маскирован индивидуально. Выходной сигнал каждого преобразователя является комбинаторной логической функцией его входов и может быть выдан на специализированный вывод микроконтроллера. Для подавления импульсных помех, которые могут возникать на выходе функционального преобразователя при переключении входных сигналов, каждый преобразователь содержит индивидуальный отключаемый фильтр.

Таблица истинности для каждого функционального преобразователя программируется в соответствующий ему специализированный регистр TRUTHn. Использование блока GLOC позволяет отказаться от применения внешних дискретных логических элементов и/или ПЛИС для реализации комбинаторных логических функций (например, дешифрации адресов, формирования сигналов выбора и т.п.).

### Средства внутрисхемной отладки

В серии UC3L поддерживается 3 отладочных интерфейса — JTAG, aWire, Nexus.

Программирование и отладка поддерживается по двум интерфейсам — JTAG или aWire. JTAG — стандартный интерфейс, позволяющий осуществлять граничное сканирование для тестирования платы, а также подключение в JTAG-цепочку нескольких устройств. aWire — интерфейс разработки Atmel, который дает возможность выполнять те же самые функции, что и JTAG, за исключением граничного сканирования. Интерфейс aWire не требует использования линий ввода/вывода, нужен только один вывод — RESET.

Отладочная система Nexus позволяет осуществлять отладку программы в режиме реального времени. Информация о трассе передается на дополнительный отладочный порт (AUX) или записывается во внутреннюю память ОЗУ для дальнейшего считывания по JTAG или aWire (так называемый NanoTrace).

### Отладочные средства

AT32UC3L-EK — оценочный комплект для семейства AT32UC3L0. AT32UC3L-EK позволяет оценить энергопотребление кристалла и аппаратный модуль емкостных сенсоров в режиме QTouch. В оценочном комплекте реализован простой доступ ко всем линиям ввода/вывода. Он может быть использован совместно с ATAVRRZ600 для создания беспроводных приложений. Все эмуляторы, которые используются для AVR-

микроконтроллеров, работают и с этим оценочным комплектом. AT32UC3L-EK поддерживается плагином AVR UC3 Software Framework.

Микроконтроллер AT32UC3L0 выпускается в корпусах QFP, QFN и TLLGA с 48 выводами. Размеры корпуса TLLGA составляют всего 5×5 мм, что позволяет использовать микроконтроллер в приложениях с малыми габаритами.

### Заключение

Традиционно 32-разрядные микроконтроллеры отличались высокой производительностью и, соответственно, высоким энергопотреблением. Теперь, с выпуском семейства UC3L, появилась возможность получить производительность 32-разрядного микроконтроллера с энергопотреблением, как у 8-разрядного МК. Приведенные параметры энергопотребления UC3L позволяют отнести это семейство к самым малопотребляющим, но производительным 32-разрядным микроконтроллерам.

В микроконтроллерах UC3L энергопотребление в спящих режимах снижено на 90% и в активном режиме на 45% по сравнению с предыдущим поколением 32-разрядных микроконтроллеров, что дает соотношение производительности/энергопотребление, не превзойденное пока на рынке. ■

### Литература

1. Курилин А. Микроконтроллеры AT32UC3: новое семейство МК с большим потенциалом // Компоненты и технологии. 2009. № 7.
2. Курилин А. 32-разрядные микроконтроллеры AVR32 UC3: с чего начать? // Компоненты и технологии. 2008. № 3.
3. [www.atmel.com/AVR32](http://www.atmel.com/AVR32)
4. <http://support.atmel.no>
5. [www.atmel.no/beta\\_ware](http://www.atmel.no/beta_ware)
6. [www.avrfreaks.net/wiki](http://www.avrfreaks.net/wiki)
7. [www.avrfreaks.net](http://www.avrfreaks.net)
8. [www.avrtv.com](http://www.avrtv.com)