

# AVR-микроконтроллеры: развитие продолжается

**В предыдущем номере журнала (№ 1'2005) была опубликована третья часть цикла статей под общим названием «AVR-микроконтроллеры: семь ярких лет становления. Что дальше?», в которой были описаны программные и аппаратные средства поддержки разработок для микроконтроллеров AVR. Настоящая статья представляет собой обзор микроконтроллеров AVR, появление которых ожидается в 2005–2006 годах в соответствии с планами компании Atmel по дальнейшему развитию этой платформы.**

**Алексей Курилин**

ak@efo.ru

**Елена Ламберт**

elena@efo.ru

## Общие тенденции развития

Выделяя общие тенденции развития платформы AVR, можно отметить появление десяти крупных семейств (рис. 1), каждое из которых планируется активно развивать в будущем.

«Традиционные» микроконтроллеры AVR, начавшие свое развитие в серии Classic (обозначение AT90S), в настоящий момент разделились на три семейства: Classic, Tiny (обозначение ATtiny) и Mega (обозначение ATmega). Семейства Tiny и Mega будут активно развиваться, а представители семейства Classic снимаются либо уже сняты с производства. Следует отметить, что при прекращении серийного производства какого-либо микроконтроллера AVR компания Atmel предлагает его замену, которая полностью совместима по выводу и функционально с предыдущим представителем и является более гибким, более надежным и производительным экземпляром с дополнительными функциональными возможностями. При переходе на новый микроконтроллер разработчики обычно не испытывают серьезных затруднений. Как правило, требуется лишь незначительное обновление программного кода, освоение дополнительной

функциональности, изучение новых аппаратных и программных средств поддержки разработок.

Разработчики микроконтроллеров AVR позаботились об инженерах, применяющих данную платформу, сделав микроконтроллеры разных серий по выводу совместимыми (рис. 2). Такое решение обеспечивает свободу выбора кристалла и возможность дальнейшего перехода другие серии.

Следует отметить, что для микроконтроллеров AVR также характерна программная совместимость «снизу вверх», что обеспечивается сохранением наименований регистров специального назначения в разных сериях и практически единым набором команд.

Проследив развитие микроконтроллеров AVR, можно заметить тенденции наращивания сложности системы, увеличение количества периферийных блоков, аппаратную поддержку различных интерфейсов, расширение количества представителей в семействах. В некоторых случаях происходит выделение специализированных микроконтроллеров в отдельные семейства. В качестве примера можно привести семейство AVR с аппаратным драйвером ЖКИ (LCD AVR), которое представлено линейкой 64-выводных микроконтроллеров. В 2005 году ожи-

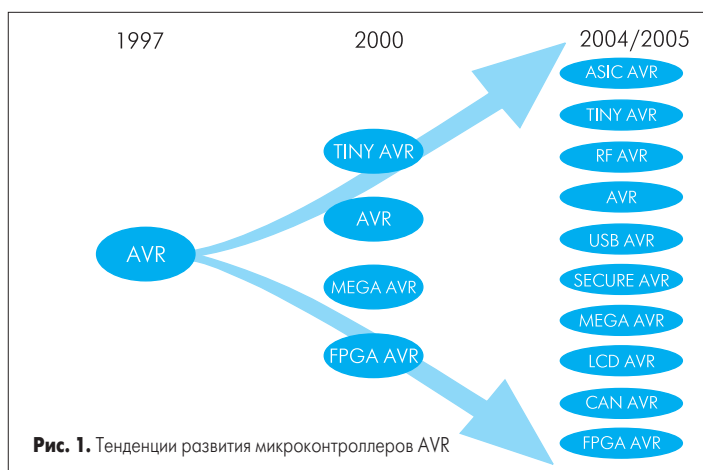


Рис. 1. Тенденции развития микроконтроллеров AVR



Рис. 2. Повыводная совместимость микроконтроллеров AVR

дается пополнение данного семейства новой линейкой микроконтроллеров в 100-выводных корпусах.

Еще одной тенденцией развития микроконтроллеров AVR можно назвать появление новых семейств для специальных приложений. Данное направление развития сформировало семейство микроконтроллеров специального назначения (ASIC AVR), среди которых ожидается появление микроконтроллеров серии AT90PWM для управления лампами дневного света и бесколлекторными асинхронными двигателями постоянного тока. Также к данному семейству присоединятся микроконтроллеры серии ATmega406, в которые впервые для AVR включены два сигма-дельта АЦП с разрядностью 12 и 18 бит. ATmega406 предназначен для выполнения функций мониторинга и заряда Li-Ion батарей в различных портативных устройствах.

Более подробно новые представители каждого семейства будут описаны в разделе «Новые микроконтроллеры».

Следует отметить постоянное улучшение характеристик энергопотребления микроконтроллеров AVR от поколения к поколению. Потребляемый ток у современных AVR в активном режиме уже составляет 350 мкА на частоте 1 МГц и питающем напряжении 1,8 В. Сверхнизкие показатели энергопотребления микроконтроллеры демонстрируют в режимах энергосбережения: 100 нА в режиме Power-Down при напряжении питания 1,8 В. Следует ожидать дальнейшего уменьшения энергопотребления и в последующих версиях кристаллов, появление которых запланировано на 2005–2006 год.

Особого внимания заслуживает тот факт, что для снижения энергопотребления во все микроконтроллеры AVR будут вводиться функции изменения частоты тактового генератора «на лету». Для этой цели разработчики платформы AVR будут интегрировать на кристалл программируемый (значением регистра CLKPR либо XDIV) предделитель частоты тактового сигнала, поступающего от любого из источников. Будут вводиться следующие значения предделителя: 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 и 256. Регистр CLKPS имеет 7 зарезервированных позиций, что предполагает возможность появления дополнительных значений предделителя.

В дополнение отметим, что платформа AVR, как и ранее, продолжает привлекать внимание разработчиков сбалансированным по функциональности и стоимости набором микроконтроллеров в сочетании с доступностью программных и аппаратных средств поддержки разработок для них. С каждым годом, уже в течение восьми лет, платформа AVR завоевывает все новых и новых поклонников во всем мире.

### Новые решения

Постоянно развивая платформу AVR, компания Atmel применяет новые технические решения, удовлетворяя потребности широкого круга инженеров. К таким решениям можно отнести, например, реализованную в 2004 году технологию отладки микроконтроллера

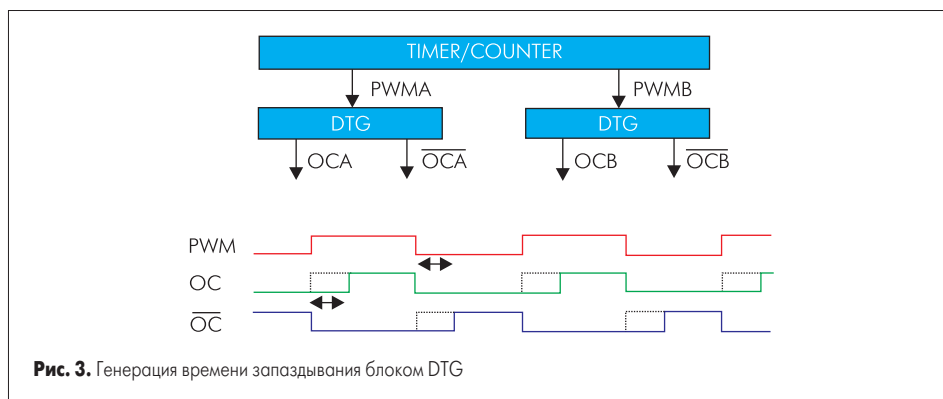


Рис. 3. Генерация времени запаздывания блоком DTG

по однопроводному интерфейсу debugWIRE. Очень удачной оказалась и идея применения FUSE-битов. Они служат для задания настроек ряда внутренних блоков микроконтроллера путем установки энергонезависимых «перемычек» на этапе его программирования. Эта идея была реализована в самых первых AVR и существует до сих пор, так как обеспечивает микроконтроллерам существенный запас гибкости при настройке на конкретное приложение.

В микроконтроллерах AVR образца 2005–2006 годов компания Atmel также планирует реализовать несколько новых идей и технологических решений.

Существенные изменения будут внесены в схему тактирования микроконтроллера. На кристалл будет помещена система ФАПЧ (фазовой автоподстройки частоты, PLL), что позволит повысить внутреннюю тактовую частоту до 64 МГц при использовании внешнего кварца на частоту 8 МГц. Данная частота может быть использована для тактирования как периферийных блоков, так и вычислительного ядра AVR. Первые представители, которые снабжены системой ФАПЧ — это серии микроконтроллеров ATtiny25/45/85 и ATtiny26/46/86.

Внутренний тактовый генератор будет традиционно построен на RC-цепочке, что позволяет достигнуть низкого энергопотребления в режимах энергосбережения и быстрой стабилизации частоты при запуске генератора. Для устранения недостатка RC-цепочки, связанного с зависимостью ее резонансной частоты от температуры, в некоторые микроконтроллеры семейства Tiny будет добавлен температурный датчик, предназначенный для определения температуры кристалла. Применение градуировочной таблицы с использованием калибровочных регистров OSCCAL позволит достигать точности тактового генератора до 1% во всем температурном диапазоне применения микроконтроллера. Первыми кристаллами, содержащими встроенный датчик температуры, будут микроконтроллеры серии ATtiny25/45/85. Заявленные характеристики точности датчика невысоки, не точнее 2% после калибровки. Его выходной сигнал будет подаваться на один из входов АЦП, что позволит применять температурный датчик для измерения медленно меняющейся температуры окружающей среды, а также производить калибровку АЦП для более точного измерения входных напряжений.

Все микроконтроллеры AVR содержат 8-битный таймер-счетчик, одним из режимов которого является широтно-импульсная модуля-

ция (ШИМ). Для расширения функциональности данного режима планируется ввести два блока (рис. 3) генерации времени запаздывания (Dead Time Generation, DTG). Основная задача блоков — генерация «мертвого» времени перед началом рабочего цикла ШИМ. Это позволит осуществлять безопасное управление силовыми ключами в системах управления двигателями и предотвращать возникновение в них сквозных токов.

Блок DTG будет вводиться в некоторые микроконтроллеры AVR, начиная с серии ATtiny25/45/85.

Традиционный сторожевой таймер (WDT) будет именоваться расширенным сторожевым таймером (enhanced WDT, EWDT). Это связано с появлением дополнительной защищенности системы от потери данных при «зависаниях» какого-либо из блоков в системе. Благодаря введенной функции генерации прерывания, перед генерацией сигнала RESET, обработка «зависания» будет производиться с возможностью сохранения критических данных перед генерацией сигнала сброса. При этом, как и ранее, можно будет задать длительность задержки перед формированием прерывания либо сигнала сброса. Максимальная длительность такой задержки существенно увеличена в новых микроконтроллерах и будет достигать 8 и более секунд.

### Новые представители

Данный раздел начнем с обзора планируемых к выпуску представителей семейства TinyAVR.

Основными тенденциями развития микроконтроллеров TinyAVR является как улучшение параметров существующих, так и появление новых периферийных блоков при сохранении габаритных размеров микросхем. Микроконтроллеры TinyAVR будут развиваться, сохраняя свои следующие характерные особенности:

- небольшой корпус с малым количеством выводов;
- небольшой объем Flash-памяти;
- наличие однопроводного отладочного интерфейса.

Семейство TinyAVR в 2005–2006 годах будет пополнено, как минимум, двумя новыми линейками микроконтроллеров ATtiny25/45/85 и ATtiny24/44/84. В пределах каждой линейки микроконтроллеры будут повыводно и функционально совместимы. Также ожидается появление новых кристаллов в линейке 20-выводных микроконтроллеров (рис. 4).

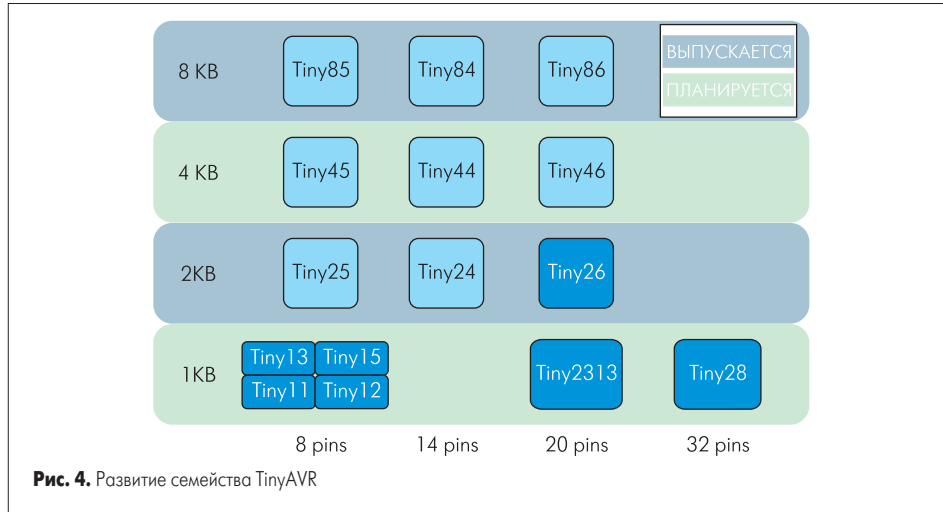


Рис. 4. Развитие семейства TinyAVR

С точки зрения функциональных возможностей микроконтроллеры линейки ATtiny25/45/85 будут существенно лучше представителей старых 8-выводных микроконтроллеров TinyAVR. На рис. 5 показаны принципиально новые (для 8-выводных TinyAVR) элементы:

- температурный датчик;
- генератор «мертвого времени»;
- блок ФАПЧ;
- высокоскоростной 8-битный таймер-счетчик;

Наличие новых блоков позволит существенно увеличить функциональность и стабильность работы кристалла в целом: интегрированный температурный датчик даст возможность исключить температурную погрешность АЦП и температурный дрейф встроенного тактового

генератора. Блок ФАПЧ позволит увеличить в 8 раз (!) скорость работы микроконтроллера и таймера-счетчика. Генератор «мертвого времени» позволит осуществлять безопасное управление внешними силовыми ключами и предотвратить возникновение в них сквозных токов.

Будут улучшены и некоторые базовые блоки. Так, например, 10-битный аналогово-цифровой преобразователь будет иметь режим дифференциального включения. Два дополнительных канала ШИМ (Fast PWM) будут организованы на высокоскоростном таймере-счетчике, что позволит блоку работать на частотах до 250 кГц.

Следует отметить, что благодаря наличию бита совместимости ATtiny15 MODE микро-

контроллеры линейки ATtiny25/45/85 смогут заменить популярные микроконтроллеры ATtiny15. Как и ATtiny26 новые микроконтроллеры ATtiny25/45/85 будут содержать универсальный последовательный интерфейс (USI).

Основные различия в микроконтроллерах линейки ATtiny25/45/85 заключаются в объемах памяти программ и данных. Объем Flash-памяти составляет 2/4/8 кбайт, объем статической и EEPROM-памяти данных составляет 128/256/512 байт. Появление микроконтроллеров данной линейки ожидается во второй половине 2005 года.

Для поддержки разработок на базе микроконтроллеров ATtiny25/45/85 будет выпущено руководство по применению «AVR441: Brushless DC motor control for fans» («Управление бесщеточными двигателями вентиляторов»).

Для решения задач, в которых недостаточно 6 линий ввода-вывода, разработана линейка микроконтроллеров ATtiny24/44/84 в 14-выводных корпусах, имеющая некоторые отличия от линейки ATtiny25/45/85.

Во-первых, количество линий ввода-вывода общего назначения увеличено до 12, а количество каналов АЦП — до 8.

Во-вторых, в микроконтроллеры данной линейки не включены блок ФАПЧ и высокоскоростной 8-битный таймер-счетчик. Для того чтобы сохранить количество каналов ШИМ и увеличить функциональность кристаллов в целом, в эти микроконтроллеры добавлен 16-битный таймер-счетчик.

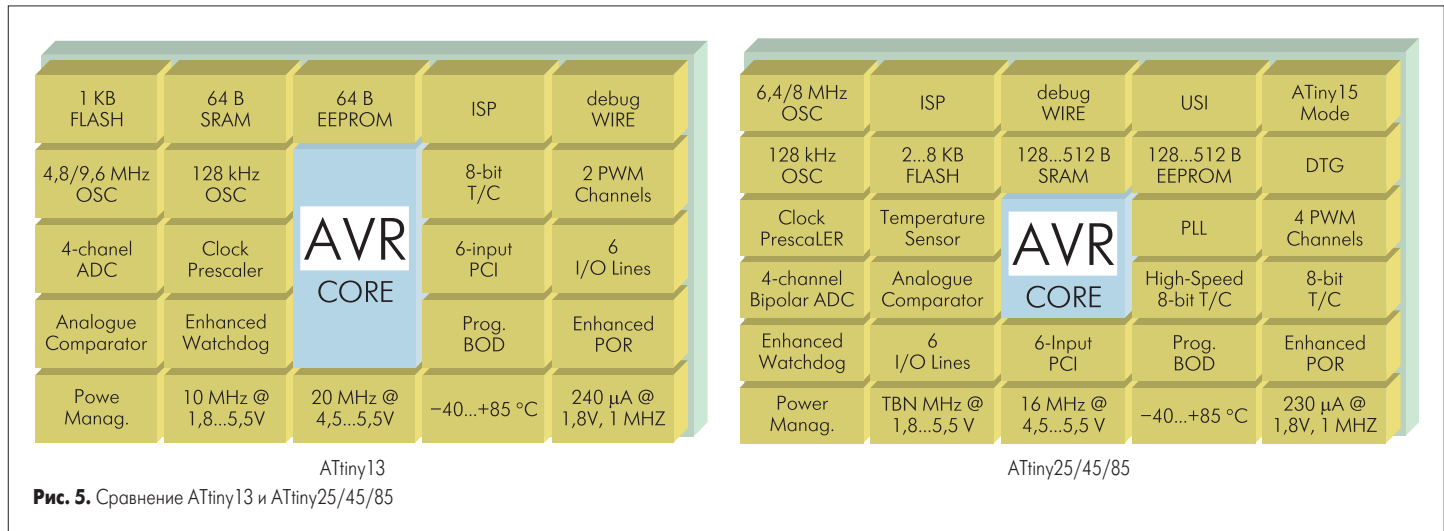


Рис. 5. Сравнение ATtiny13 и ATtiny25/45/85

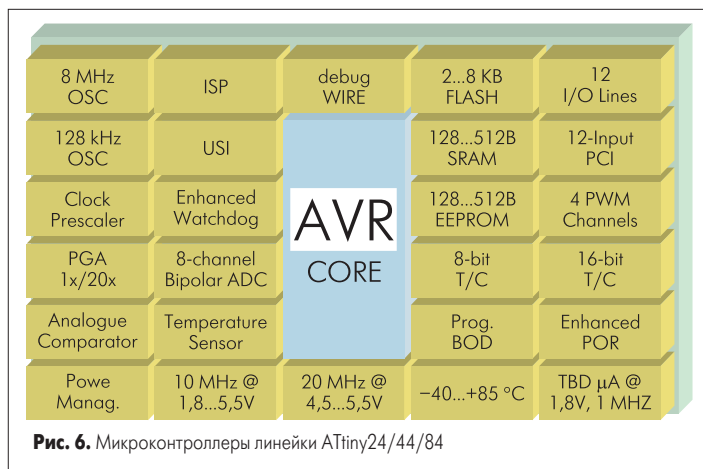


Рис. 6. Микроконтроллеры линейки ATtiny24/44/84

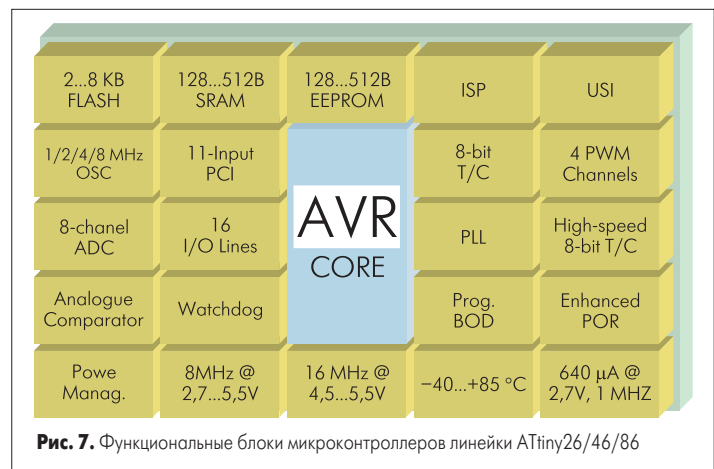


Рис. 7. Функциональные блоки микроконтроллеров линейки ATtiny26/46/86

Микроконтроллеры ATtiny24/44/84 могут быть особенно интересны для разработчиков зарядных устройств. Наличие АЦП, имеющего режим дифференциального включения, позволит осуществлять контроль полярности установки батареи в зарядное устройство.

Производство микроконтроллеров линейки ATtiny24/44/84 планируется на 3 квартал 2005 года.

Популярные микроконтроллеры TinyAVR в 20-выводных корпусах, представленные микроконтроллером ATtiny26, пополнятся двумя новыми кристаллами ATtiny46/86 с увеличенными (x2, x4) объемами памяти программ и данных. Функциональное наполнение, изображенное на рис. 7, соответствует всем микроконтроллерам линейки ATtiny26/46/86.

Микроконтроллеры ATtiny46/86, аналогично ATtiny26, будут содержать 10-битный АЦП с 11-канальным аналоговым мультиплексором, позволяющим производить коммутацию в дифференциальном режиме в 8 комбинациях. Аналоговая часть микроконтроллера также будет содержать аналоговый компаратор.

Цифровая часть микроконтроллеров ATtiny46/86 традиционно будет снабжена 8-битным таймером-счетчиком. Как и в ATtiny26, будут включены система ФАПЧ и быстродействующий дополнительный 8-битный таймер-счетчик (T/C1). Как и в микроконтроллерах линейки ATtiny25/45/85, выходная частота блока ФАПЧ (деленная на 4) может использоваться в качестве тактовой частоты для ядра микроконтроллера, что позволит достичь производительности 16 MIPS при использовании внутреннего тактового генератора на частоте 8 МГц. Благодаря наличию системы ФАПЧ частота выходного сигнала на двух каналах ШИМ таймера T/C1 сможет достигать 500 кГц.

Все новые микроконтроллеры семейства TinyAVR, за исключением Tiny46/86, будут снабжены однопроводным отладочным интерфейсом debugWIRE и функцией генерации прерывания при изменении уровня на любой из линий ввода-вывода общего назначения (у ATtiny46/86 лишь на 11 из 16). Наличие такой функции генерации прерывания упрощает реализацию клавиатурного интерфейса.

Некоторые микроконтроллеры, серийно выпускаемые в течение продолжительного времени, в будущем будут сняты с производства. Для каждого из них начинают выпускать замену, которая по выводу и функционально совместима с предыдущей версией микроконтроллера. Ниже приведена таблица предлагаемых замен. Микроконтроллеры, перечисленные в первом столбце таблицы, не рекомендуются для новых проектов уже в настоящее время.

Таблица 1. Кросс-таблица TinyAVR

Микроконтроллер	Предлагаемая замена
ATtiny11	ATtiny13
ATtiny12	ATtiny13
AT90S1200	ATtiny2313
AT90S2313	ATtiny2313
AT90LS2323	ATtiny25
AT90S2323	ATtiny25
AT90LS2343	ATtiny25
AT90S2343	ATtiny25

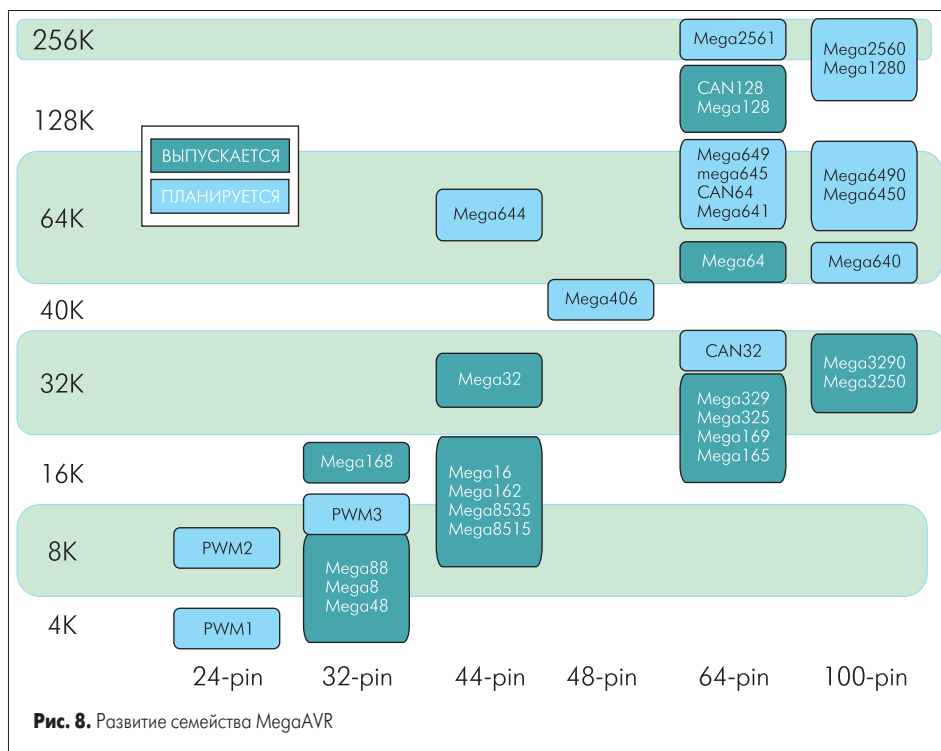


Рис. 8. Развитие семейства MegaAVR

В качестве резюме можно сказать, что микроконтроллеры семейства TinyAVR являются подходящим решением для задач, в которых требуется:

- малый размер корпуса микроконтроллера;
- небольшое количество линий ввода-вывода;
- наличие таймеров-счетчиков с каналами ШИМ;
- низкое энергопотребление;
- интегрированный температурный датчик;
- отладка в системе с максимальной эффективностью использования линий ввода-вывода;
- наличие энергонезависимой многократно программируемой памяти программ и данных;
- низкая стоимость микроконтроллера.

Для решения более сложных задач с повышенными требованиями к функциональной насыщенности микроконтроллера можно применять кристаллы семейства MegaAVR. На рис. 8 приведена таблица микроконтроллеров семейства MegaAVR, которые серийно выпускаются в настоящее время и запланированы к производству в 2005–2006 годах.

Развитие микроконтроллеров MegaAVR происходит в направлении увеличения объемов памяти программ и данных. На базе MegaAVR формируются новые семейства: с драйвером ЖКИ (ATmegaхх9/хх90), с контроллером шины CAN, микроконтроллеры для создания электронных балластов (PWM1/2/3), микроконтроллеры для мониторинга заряда и разряда аккумуляторных батарей (ATmega406).

Кристаллы семейства MegaAVR в 32-выводных корпусах на сегодняшний день представлены достаточно полно, и в ближайшем будущем не ожидается появления новых представителей. Следует отметить, что в конце 2004 года компания Atmel начала работу по созданию микроконтроллеров ATmega48/88/168 для работы в расширенном температурном диапазоне, и к третьему кварталу 2005 запланировано появление кристалла ATmega88, способного функ-

ционировать в автомобильном (–40...+125 °С) температурном диапазоне.

MegaAVR в 44-выводных корпусах будет пополнены микроконтроллером ATmega644, по выводу совместимым с ATmega8535/16/32. Микроконтроллеры данной группы имеют различия в объемах памяти программ и данных (табл. 2), содержат 10-битный АЦП с 8-канальным мультиплексором, интерфейсы для последовательной передачи данных (SPI/USART/TWI), 8- и 16-битные таймеры-счетчики, каналы ШИМ, встроенный тактовый генератор.

Таблица 2. Кристаллы MegaAVR в 44-выводных корпусах

Устройство	Flash	RAM	EE	JTAG
Mega8535	8K	512	512	–
Mega16	16K	1K	512	Да
Mega32	32K	2K	1K	Да
Mega644	64K	4K	1K	Да

MegaAVR в 64-выводных корпусах представлены микроконтроллерами общего назначения, микроконтроллерами с драйвером ЖКИ (ATmegaхх9/ATmegaхх9х) и микроконтроллерами с интерфейсом CAN (AT90CAN128/64/32).

ATmega169 с драйвером ЖКИ стал первым кристаллом AVR, у которого нижний порог питающего напряжения составляет 1,8 В. Одновременно с этим разработчики платформы AVR добились существенного снижения энергопотребления микроконтроллера:

- в активном режиме при напряжении питания 1,8 В ток не превышает 350 мкА при тактовой частоте 1 МГц, и не превышает 20 мкА при тактовой частоте 32 кГц;
- в режиме энергосбережения при напряжении питания 1,8 В ток не превышает 100 нА.

Благодаря данным характеристикам, этот микроконтроллер получил широкое применение в устройствах с батарейным питанием. Наличие драйвера ЖКИ на 100 сегментов и функции генерации прерывания при изменении уровня на линиях ввода-вывода повышает эффективность использования ATmega169



в устройствах с ЖК-дисплеем и клавиатурным интерфейсом.

Микроконтроллер ATmega169 выпускается в 64-выводном корпусе и содержит 64 кбайт Flash-памяти. Для разработки устройств, требующих большого количества сегментов ЖКИ, линий ввода-вывода, объемов памяти программ и данных, будут выпускаться микроконтроллеры ATmega329/649/3290/6490, общие характеристики которых приведены в таблице 3. Сегодня доступны инженерные образцы микроконтроллеров ATmega329/3290 с 32 кбайт Flash-памяти. Появление микроконтроллеров ATmega649/6490 с 64 кбайт Flash-памяти запланировано на второй квартал 2005 года.

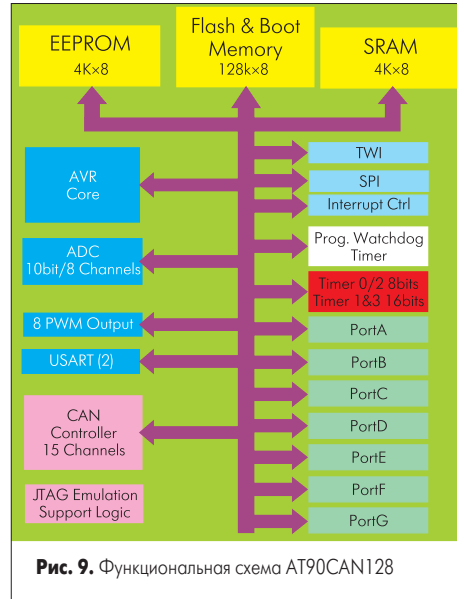
Таблица 3. Микроконтроллеры линейки ATmegaхх9/хх90

Устройство	Flash	RAM	E2	LCD	Pins
Mega169	16K	1K	512	4x25	64
Mega329	32K	2K	1K	4x25	64
Mega649	64K	4K	2K	4x25	64
Mega3290	32K	2K	1K	4x40	100
Mega6490	64K	4K	2K	4x40	100

Микроконтроллеры линейки ATmegaхх9/хх90 имеют следующие общие характеристики:

- Содержат драйвер ЖКИ (на 100 либо 160 сегментов), поддерживающий функции регулировки контрастности и режим Low Power Waveform, предназначенный для снижения энергопотребления путем уменьшения количества переключений уровня напряжения, подаваемого на выводы ЖКИ.
- Содержат предделитель входной тактовой частоты, значение которого задается программно. Основной функцией предделителя является снижение энергопотребления при работе микроконтроллера в активном режиме.
- Имеют большое количество линий ввода-вывода. Для реализации клавиатурного интерфейса на 17 линиях ввода-вывода предусмотрена функция генерации прерывания при изменении логического уровня на линии.
- Содержат АЦП с разрядностью 10 бит, мультиплексор на 10 каналов и источник опорного напряжения. Заявленная эффективная разрешающая способность микроконтроллера с использованием функций калибровки равна 9,5 бит, а при использовании метода передискретизации с количеством 4000 отсчетов на каждое измеряемое значение позволяет получить эффективное число разрядов до 16,5 бит. Минимальное время преобразования АЦП равно 13 мкс. Следует отметить, что АЦП поддерживает функцию запуска преобразования по прерыванию.
- Содержат двухтактный аппаратный умножитель 8x8. Подробно использование аппаратного умножителя описано в руководстве по применению «AVR201: Using the AVR Hardware Multiplier».

Микроконтроллеры **общего назначения** в 64-выводных корпусах ранее были представлены только двумя кристаллами: ATmega64 и ATmega128. В сентябре 2004 года была анонсирована линейка микроконтроллеров ATmegaхх5/ATmegaхх50, включающая кристаллы в 64- и 100-выводных корпусах (табл. 4). На сегодняшний день доступны образцы микроконтроллеров ATmega165/325/3250 с объемами



Flash-памяти 16 и 32 кбайт. Начало выпуска микроконтроллеров ATmega645/6450 с объемами Flash-памяти 64 кбайт запланировано на второй квартал 2005 года.

Таблица 4. Микроконтроллеры линейки ATmegaхх5/хх50

Устройство	Flash	RAM	EE	Pins
CAN32	32K	2K	1K	64
CAN64	64K	4K	2K	64
CAN128	128K	4K	4K	64

Микроконтроллеры линейки ATmegaхх5/хх50 являются «сокращенной» версией микроконтроллеров линейки ATmegaхх9/хх90. Отличие состоит в том, что ATmegaхх5/хх50 не содержит драйвера ЖКИ, сохраняя при этом все характеристики и преимущества ATmegaхх9/хх90.

В дальнейшем (в 2005–2006 годах) компания Atmel планирует выпуск микроконтроллеров в 64- и 100-выводных корпусах, имеющих увеличенные объемы памяти программ и данных. Общие характеристики будущих кристаллов приведены в таблице 5.

Таблица 5. Микроконтроллеры линейки ATmegaхх1/ххх0

Устройство	Flash	RAM	E2	Pins
Mega165	16K	1K	512	64
Mega325	32K	2K	1K	64
Mega645	64K	4K	2K	64
Mega3250	32K	2K	1K	100
Mega6450	64K	4K	2K	100

Микроконтроллеры линейки ATmegaхх1/ххх0 с большими объемами памяти программ и данных будут иметь развитую аналоговую и цифровую периферию, включающую 16-канальный АЦП, 16 каналов ШИМ и четыре последовательных интерфейса UART. Они также будут иметь низкие значения энергопотребления, не превышающие заявленных значений для линеек ATmegaхх9/хх90 и ATmegaхх5/хх50.

Аппаратные и программные средства разработки для всех перечисленных микроконтроллеров были описаны в статье «Программные и аппаратные средства поддержки разработок для микроконтроллеров AVR» («КиТ», № 1'2005).

В семействе микроконтроллеров MegaAVR также развиваются интерфейсные решения: «путьку в жизнь» получили кристаллы с **интер-**

**фейсом CAN.** Микроконтроллер AT90CAN128, выпускаемый серийно, будет дополнен двумя новыми повыводно и функционально совместимыми представителями данного семейства — микроконтроллерами AT90CAN64 и AT90CAN32 с уменьшенными объемами памяти программ и данных (табл. 6). Отметим, что компания Atmel планирует выпуск микроконтроллеров данного семейства в автомобильном температурном диапазоне.

Таблица 6. Микроконтроллеры линейки AT90CANxxx с интерфейсом CAN

Устройство	Flash	RAM	EE	Pins
M641	64K	4K	4K	64
M1281	128K	8K	4K	64
M2561	256K	8K	4K	64
M640	64K	4K	4K	100
M1280	128K	8K	4K	100
M2560	256K	8K	4K	100

На рис. 9 изображены функциональные блоки, входящие в состав микроконтроллера AT90CAN128.

Цифровая часть содержит по два 8- и 16-битных таймера-счетчика и восемь каналов ШИМ. Аналоговая часть содержит 10-битный АЦП с мультиплексором на 8 каналов. В состав периферийных блоков входят аппаратный CAN-контроллер, соответствующий спецификациям CAN 2.0A/2.0B, с 15 независимыми буферами входных сообщений. Имеются два последовательных интерфейса USART, двухпроводной интерфейс TWI (совместимый с I<sup>2</sup>C) и интерфейс SPI, работающий в режимах master и slave. Следует отметить, что для подключения микроконтроллеров AT90CANxxx к сети CAN достаточно внешней микросхемы AT6660, реализующей преобразование уровня TTL <-> CAN.

Для упрощения разработки программного обеспечения компания Atmel предлагает набор библиотек AT90CAN128 Software Library и примеры программ, доступные на сайте [www.atmel.com](http://www.atmel.com). Для реализации протоколов верхнего уровня (CANopen и DeviceNet) существуют программные продукты сторонних компаний.

В качестве аппаратных средств разработки предлагается использование комплекта STK500+STK501+ATADAPCAN01. Для отладки программ с использованием AVR Studio предлагается программа AT90CAN128 Plug-in, которая автоматически интегрируется в AVR Studio и позволяет производить отладку в режиме эмуляции и программной симуляции.

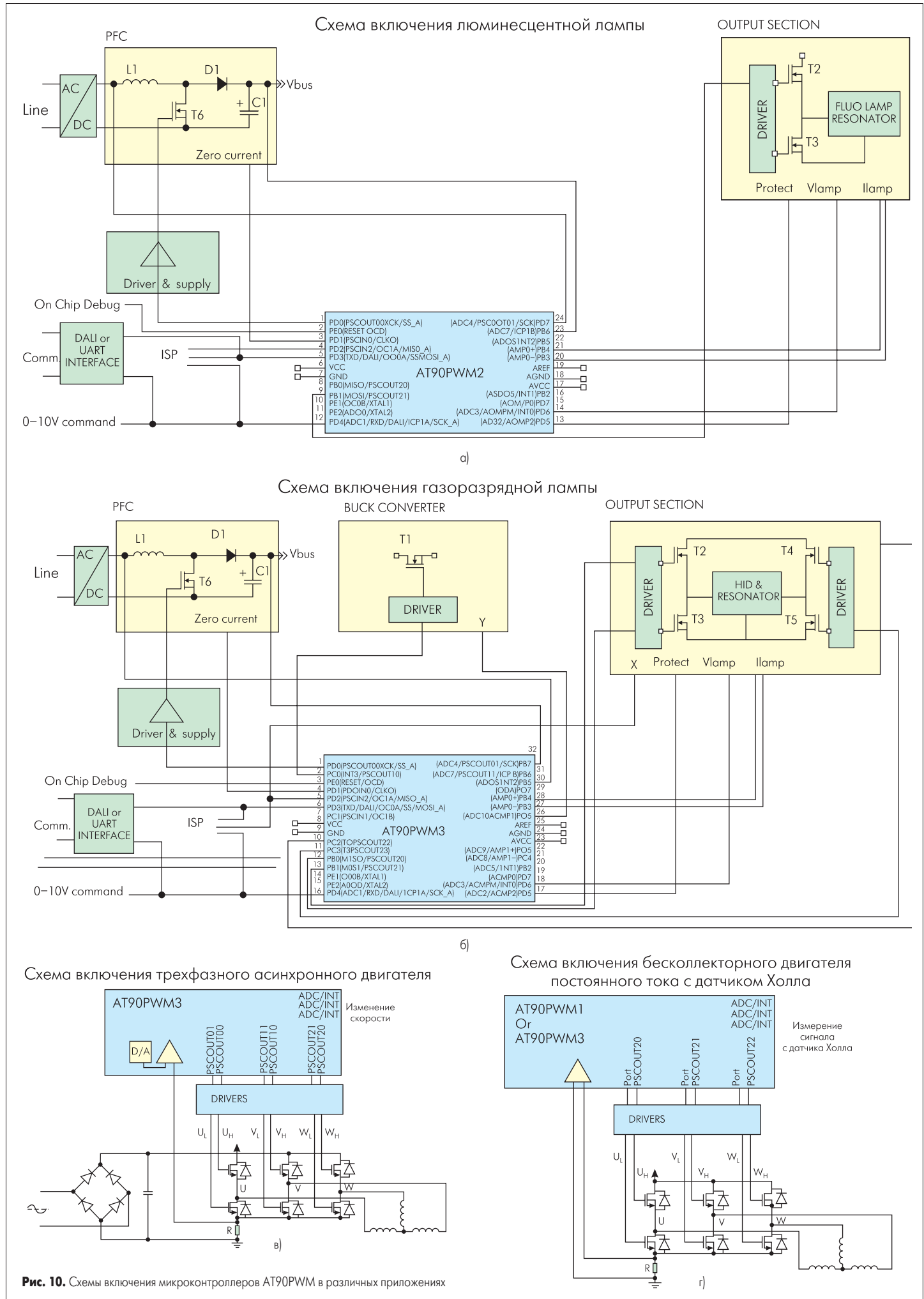
Появившийся совсем недавно микроконтроллер ATmega406 является микроконтроллером специального назначения. ATmega406 предназначен для мониторинга и заряда батарей Li-Ion аккумуляторов. Появлению данного продукта способствовал заказ компании Sony. В таблице 7 приведены основные параметры микроконтроллера.

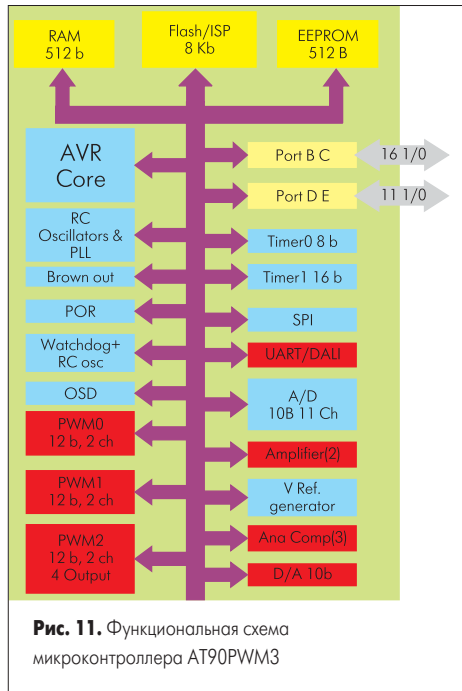
Таблица 7. Основные параметры ATmega406

Устройство	Flash	RAM	EE	Pins
Mega406	40K	2K	512	48

ATmega406 имеет следующие характерные особенности:

- Аналоговая часть содержит 12-битный сигма-дельта АЦП для контроля напряжения





и 18-битный сигма-дельта АЦП для измерения тока. С целью повышения точности измерений на кристалл интегрирован прецизионный источник опорного напряжения.

- Встроенный регулятор напряжения обеспечивает широкий диапазон питающих напряжений (4–25 В), что позволяет осуществлять питание микроконтроллера либо от самой батареи, либо от внешнего источника питания с напряжением до 25 В.
- Микроконтроллер содержит схему защиты аккумуляторной батареи от превышения максимального тока нагрузки и от короткого замыкания. Схема защиты также реализует функции контроля напряжения на батареях. При этом можно программно задавать уровень напряжения, при превышении которого будет производиться отключение, и задавать время реакции на данное событие.
- Реализована функция Cell balancing function, которая позволяет (при работе с батареями из 2, 3 и 4 Li-Ion элементов) производить контроль напряжения на всей батарее, а также на каждом элементе батареи.
- Для передачи данных реализован двухпроводной интерфейс SMBus, широко применяемый в портативных компьютерах (совместим с PC).

К микроконтроллерам AVR специального назначения также относятся кристаллы семей-

**Таблица 8.** Основные параметры микроконтроллеров AT90PWM1/2/3

Параметр	AT90PWM1	AT90PWM2	AT90PWM3
Кол-во выводов	24	24	32
Flash-память, кбайт	4	8	8
SRAM, байт	256	512	512
EEPROM, байт		512	512
Внутрисхемное программирование	SPI, self program.	SPI, self program.	SPI, self program.
Линий ввода/вывода	19	19	27
АЦП	8 каналов, 10-бит	8 каналов, 10-бит	11 каналов, 10-бит
Усилитель	+	+	+
Аналоговых компьютеров	2	2	3
ЦАП			10-бит
Напряжение питания, В	2,7–5,5	2,7–5,5	2,7–5,5
ФАПЧ (PLL)	+	+	+
8-битный таймер	1	1	1
12-битный таймер	2	2	3
16-битный таймер		1	1
Каналов ШИМ	6	7	10
Интерфейс DALI/UART	–	+	+
RC-генераторов	Два	Два	Два

ства AT90PWM1/2/3, которые предназначены для создания электронных балластов для газоразрядных и люминесцентных ламп, асинхронных трехфазных двигателей и бесколлекторных двигателей постоянного тока. На рис. 10 приведены схемы включения микроконтроллеров семейства PWM1/2/3.

На рис. 11 изображена функциональная схема микроконтроллера AT90PWM3, являющегося наиболее функционально насыщенным представителем этого семейства.

В отличие от микроконтроллера AT90PWM3, который планируется выпускать в корпусе SO32, кристаллы AT90PWM1 и AT90PWM2 будут иметь упрощенную функциональную структуру и будут опрессовываться в корпуса SO24. В таблице 8 приведены основные параметры микроконтроллеров семейства AT90PWM1/2/3.

Функциональные блоки микроконтроллеров будут иметь следующие особенности:

- диапазон входных напряжений АЦП: от 0 до Vcc; время преобразования не более 8 мкс, интегральная нелинейность 0,5 LSB, абсолютная погрешность измерения не более  $\pm 2$  LSB;
- встроенный источник опорного напряжения на  $2,56 \pm 0,08$  В;
- коэффициенты усиления операционного усилителя 5, 10, 20 и 40.

Для регулирования работы блоков ШИМ будет введен модуль Power Stage Controller (PSC). Модуль позволит осуществлять синхронизацию, реализовывать одностороннюю «фронтную» и двухстороннюю «центрированную» ШИМ-модуляцию, регулировать длительность интервала «мертвого времени».

Микроконтроллеры AT90PWM2 и AT90PWM3 будут поддерживать цифровой адресуемый

интерфейс освещения DALI — Digitally Addressable Lighting Interface ([www.dali-ag.org](http://www.dali-ag.org)), предназначенный для управления устройствами освещения. Протокол интерфейса DALI поддерживает работу с устройствами по их адресам, что позволяет осуществлять индивидуальное управление каждым элементом системы и контролировать их исправность. Изменение частоты тактового RC-генератора, ввиду температурной зависимости, не будет влиять на работу интерфейса DALI, так как последний реализован с поддержкой режима автоматического определения скорости передачи данных.

Для «быстрого начала» разработки аппаратного и программного обеспечения для микроконтроллеров семейства AT90PWM1/2/3 компанией Atmel предлагается плата STK520, которая является мезонинным модулем платы STK500. На плате STK520 имеются панели для установки микроконтроллеров в корпусах SO24, SO32, а также все необходимые интерфейсные разъемы и внешние вспомогательные электронные компоненты. Микроконтроллеры AT90PWM1/2/3 поддерживаются интегрированной средой разработки AVR Studio, начиная с версии 4.11.

Корпорация Atmel планирует выпуск микроконтроллеров PWM1/2/3 в промышленном и автомобильном температурных диапазонах.

### Заключение

Уже длительное время микроконтроллеры AVR представлены набором семейств, сбалансированных по функциональности, производительности, экономичности и стоимости. Но компания Atmel не останавливается на достигнутом и продолжает активное развитие этой платформы. С каждым годом микроконтроллеры AVR покрывают все более широкий спектр возможных приложений, захватывая все новые и новые ниши на рынке.

Следует отметить, что разработка новых кристаллов AVR у компании Atmel всегда сопровождается появлением новых либо обновлением старых аппаратных и программных средств поддержки. Наличие большого количества различных отладочных плат и наборов, компиляторов, примеров программ, библиотек и прочих программных средств разработки способствует максимально простому и быстрому освоению новых версий этих популярных во всем мире микроконтроллеров. ■

### Литература

1. AVR Technical Training. Atmel Corp. Norway. 2004.
2. AVR Software and Technical Library. February 2005.
3. Веб-сайт компании Atmel. [www.atmel.com](http://www.atmel.com).