

Особенности малопотребляющих микроконтроллеров Renesas RA2

Обязательное условие успеха любого проекта — его реализация на платформе, максимально подходящей для конкретного технического задания. Несмотря на то, что многие устройства на первый взгляд кажутся типовыми и могут быть созданы на элементной базе многих производителей, использование специфических особенностей выбранной аппаратной основы иногда позволяет исполнить некоторые узлы более эффективно, чем с помощью неспециализированных решений. А это в конечном итоге может оказаться ключевым конкурентным преимуществом, определяющим успех всего проекта.

Александр РУСУ

Не стали исключением и устройства, предназначенные для применения в современных интеллектуальных автоматизированных системах, в том числе и в решениях, относящихся к категории «Интернета вещей». Ультранизкое энергопотребление относится к числу основных требований, предъявляемых к подобной технике, поскольку она нередко работает от батарей, а слишком частая их замена влечет за собой дополнительные эксплуатационные расходы.

В статье рассмотрены особенности малопотребляющих микроконтроллеров линейки RA2, разработанной одним из ведущих производителей электронных компонентов — японской компанией Renesas. Использование этого семейства позволяет не только снизить энергопотребление типовых устройств «Интернета вещей», но и за счет некоторых уникальных технологий довести его до рекордно низкого уровня, недостижимого с применением микросхем других производителей.

Состав линейки RA2

Линейка RA2 специально создавалась для устройств с автономным питанием, поэтому ее ключевой особенностью является сверхнизкое энергопотребление, позволяющее рационально расходовать заряд батареи. Микросхемы RA2 построены на основе 32-разрядного ядра Cortex-M23 и могут работать с тактовой частотой до 48 МГц, что вполне достаточно для обеспечения требуемой производительности в активных режимах. Линейка RA2 состоит из четырех групп микро-

контроллеров, различающихся количеством выводов, объемом памяти и функциональностью (рис. 1). Характеристики микросхем RA2L1, RA2E1 и RA2E2 близки к характеристикам микроконтроллеров общего назначения, поэтому их лучше всего использовать в системах управления различными устройствами. А вот представители группы RA2A1, благодаря наличию большего количества аналоговых периферийных модулей и поддержке множества коммуникационных интерфейсов, оптимальны для устройств, критичных к величине габаритных размеров прибора, например для «умных» измерительных датчиков.

Группа RA2E1 является базовой. В ее составе представлено наибольшее количество микроконтроллеров, с разными объемами памяти и разным количеством выводов (рис. 2). Набор периферийных устройств микроконтроллеров RA2E1 невелик, что положительно сказывается на цене этих микросхем, однако его вполне достаточно для реализации множества типовых приложений, в числе которых устройства управления промышленными и бытовыми электроприборами, средства домашней и промышленной автоматизации, автоматизированные интеллектуальные устройства и многое другое.

Линейка RA2E2, разработанная одной из самых последних, предназначена для малогабаритных приборов, не требующих сложных алгоритмов управления или обработки сигналов. Кроме сверхнизкого энергопотребления — основного отличия всей линейки RA2, ключевой особенностью микроконтроллеров RA2E2 является использование более компактных корпусов с меньшим числом

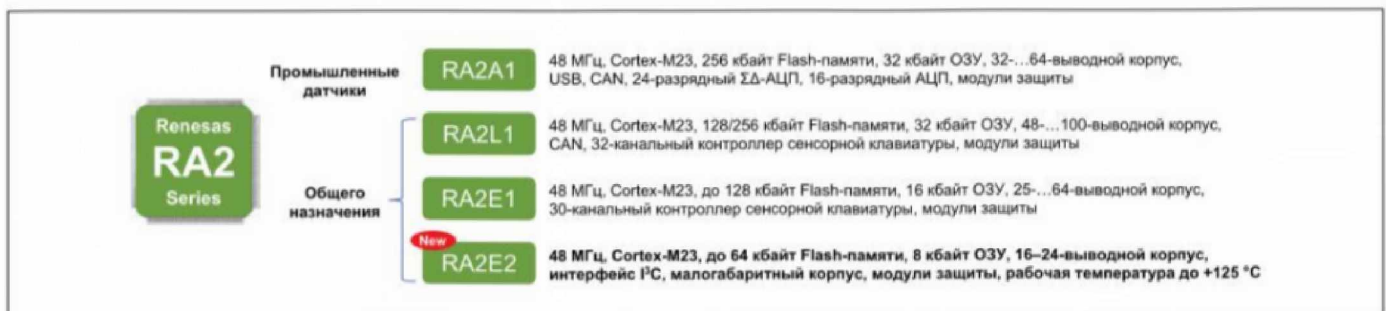


Рис. 1. Ключевые особенности групп линейки RA2

		RA2L1																										
Flash-память/ОЗУ	256 кбайт/ 32 кбайт									RA2L1	RA2L1			RA2L1			RA2L1	RA2L1										
	128 кбайт/ 32 кбайт									RA2L1	RA2L1			RA2L1			RA2L1	RA2L1										
	128 кбайт/ 16 кбайт									RA2E1	RA2E1	RA2E1	RA2E1	RA2E1	RA2E1	RA2E1	RA2E1	RA2E1										
	64 кбайт/ 16 кбайт	RA2E2								RA2E1	RA2E1	RA2E1	RA2E1	RA2E1	RA2E1	RA2E1	RA2E1	RA2E1										
	64 кбайт/ 8 кбайт	RA2E2	RA2E2	RA2E2						RA2E1	RA2E1	RA2E1	RA2E1	RA2E1	RA2E1	RA2E1	RA2E1	RA2E1										
	32 кбайт/ 16 кбайт									RA2E1	RA2E1	RA2E1	RA2E1	RA2E1	RA2E1	RA2E1	RA2E1	RA2E1										
	32 кбайт/ 8 кбайт	RA2E2	RA2E2	RA2E2																								
	16 кбайт/ 8 кбайт	RA2E2	RA2E2	RA2E2																								
Количество выводов	16	20	24	25	32	32	36	48	48	64	64	64	80	100	WLCSP	QFN	QFN	WLCSP	QFN	LOFP	LGA	QFN	LOFP	BGA	LOFP	LOFP	LOFP	LOFP
Корпус	1,87×1,84 мм	4×4 мм	4×4 мм	2,17×2,3 мм	5×5 мм	7×7 мм	4×4 мм	7×7 мм	7×7 мм	4×4 мм	10×10 мм	14×14 мм	12×12 мм	14×14 мм														
Шаг выводов	0,4 мм	0,5 мм	0,5 мм	0,4 мм	0,5 мм	0,8 мм	0,5 мм	0,5 мм	0,5 мм	0,4 мм	0,5 мм	0,8 мм	0,5 мм	0,5 мм														

Рис. 2. Основные характеристики микроконтроллеров RA2L1, RA2E1 и RA2E2

выводов и меньшим количеством всех видов памяти (рис. 2). Это позволяет уменьшить размеры печатной платы и стоимость устройства за счет применения более оптимальной модели микроконтроллера. Основные приложения микроконтроллеров RA2E2 — это устройства с батарейным питанием, в том числе и носимые, однако это не становится препятствием для использования представителей данной группы и в типовом оборудовании общего назначения.

Особо следует отметить поддержку микроконтроллерами RA2E2 интерфейса FC (Sense Wire) — дальнейшего развития стандарта FC. По своим возможностям интерфейс FC занимает промежуточное положение между низкоскоростным FC и высокоскоростным SPI, сочетая исключительную гибкость FC и высокую скорость обмена данными, характерную для SPI. Поддержка FC позволяет использовать микроконтроллеры RA2E2 с элементной базой нового поколения, сохраняя при этом полную совместимость с микросхемами, в которых для обмена данными предусмотрена традиционная версия этого интерфейса.

В отличие от микроконтроллеров RA2E2, чье применение сокращает количество неиспользуемых аппаратных ресурсов, микроконтроллеры RA2L1, наоборот, предназначены для приложений, в которых возможностям микросхем группы RA2E1 недостаточно для реализации поставленного технического задания. Микросхемы RA2L1 содержат большее количество всех видов памяти и выпускаются в корпусах с большим количеством выводов (рис. 2). Набор периферийных устройств микросхем RA2L1 во многом аналогичен микросхемам RA2E1 (табл. 1), однако периферийные модули микроконтроллеров RA2L1 обычно имеют большее количество каналов, а также RA2L1 оснащён встроенным ЦАП 12 бит и модулем для обмена данными по интерфейсу CAN.

Ключевой особенностью микросхем RA2A1 является богатый набор периферийных модулей, предназначенных для работы с аналоговыми сигналами. Например, в состав микросхем этой группы входит высокоскоростной 24-разрядный сигма-дельта АЦП, а разрешающая способность стандартного АЦП последовательного приближения увеличена с 12 до 16 разрядов. Кроме этого, микроконтроллеры RA2A1 содержат высокоскоростной компаратор, три операционных усилителя, два цифро-аналоговых преобразователя с разрядностью 8 и 12 бит, а также поддерживают большее количество коммуникационных интерфейсов, в том числе полноскоростной USB 2.0 и CAN. Таким образом, микросхемы RA2A1 могут стать прекрасной основой для приложений, требующих высокоточной обработки аналоговых сигналов, — например, медицинской техники, элементов промышленных измерительных систем, систем мониторинга состояния окружающего пространства и многих других (рис. 3).

Таблица 1. Основные технические характеристики микроконтроллеров RA2

Характеристики	RA2A1	RA2L1	RA2E1	RA2E2
Flash-память для хранения программы, кбайт	256	256, 128	128, 64, 32	64, 32, 16
Flash-память для хранения данных, кбайт	8	8	4	2
Оперативная память (SRAM), кбайт	32	32	16	8
Блок коррекции ошибок SRAM(ECC), кбайт	Есть	Есть	—	—
32-разрядный таймер с поддержкой ШИМ (GPT32)	1 канал	4 канала	1 канал	—
16-разрядный таймер с поддержкой ШИМ (GPT16)	6 каналов	6 каналов	6 каналов	6 каналов
Асинхронный малопотребляющий таймер общего назначения (LP AG1)	—	16-разрядный, 2 канала	16-разрядный, 2 канала	32-разрядный, 2 канала
Асинхронный таймер общего назначения (AG1)	16-разрядный, 2 канала	—	—	—
Сторожевой таймер (WDT)	14-разрядный	14-разрядный	14-разрядный	14-разрядный
Часы реального времени (RTC)	Есть	Есть	Есть	—
Модуль SCI (интерфейсы UART, FC, SPI)	5 каналов	5 каналов	4 канала	1 канал
Модуль SPI	2 канала	2 канала	1 канал	1 канал
Модуль FC	2 канала	2 канала	1 канал	—
Модуль FC с поддержкой FC	—	—	—	1 канал
Модуль CAN	1 канал	1 канал	—	—
Модуль USB	1 канал	—	—	—
12-разрядный АЦП (ADC12)	—	до 19 каналов	до 13 каналов	до 8 каналов
16-разрядный АЦП (ADC16)	до 17 каналов	—	—	—
24-разрядный Σ-Δ АЦП (SDADC24)	до 10 каналов	—	—	—
Малопотребляющий компаратор (ACMP1P)	2 канала	2 канала	2 канала	—
Высокоскоростной компаратор (ACMP1S)	1 канал	—	—	—
Датчик температуры (TSN)	Есть	Есть	Есть	Есть
8-разрядный ЦАП (DAC8)	2 канала	—	—	—
12-разрядный ЦАП (DAC12)	1 канал	1 канал	—	—
Операционный усилитель (OPAMP)	3 канала	—	—	—
Контроллер сенсорной клавиатуры (CTSU)	26 каналов	32 канала	30 каналов	—
Криптографический модуль (AES)	Есть	Есть	Есть	Есть
Аппаратный генератор случайных чисел (TRNG)	Есть	Есть	Есть	Есть
Количество выводов корпуса	64, 48, 40, 36, 32	100, 80, 64, 48	64, 48, 36, 32, 25	24, 20, 16
Диапазон рабочих температур, °C	-40...+85 -40...+105	-40...+85 -40...+105	-40...+85 -40...+105	-40...+85 -40...+105 -40...+125

Поскольку микроконтроллеры RA2 позиционируются для устройств «Интернета вещей», состав их периферийных модулей был бы не полон без узлов, обеспечивающих защиту информации. В каждом микроконтроллере этой линейки присутствует аппаратный модуль шифрования AES, который в совокупности с аппаратным генератором случайных чисел TRNG может обеспечить быстрое и надежное шифрование данных, передаваемых по открытым каналам. Кроме этого, в микроконтроллерах RA2 предусмотрен аппаратный

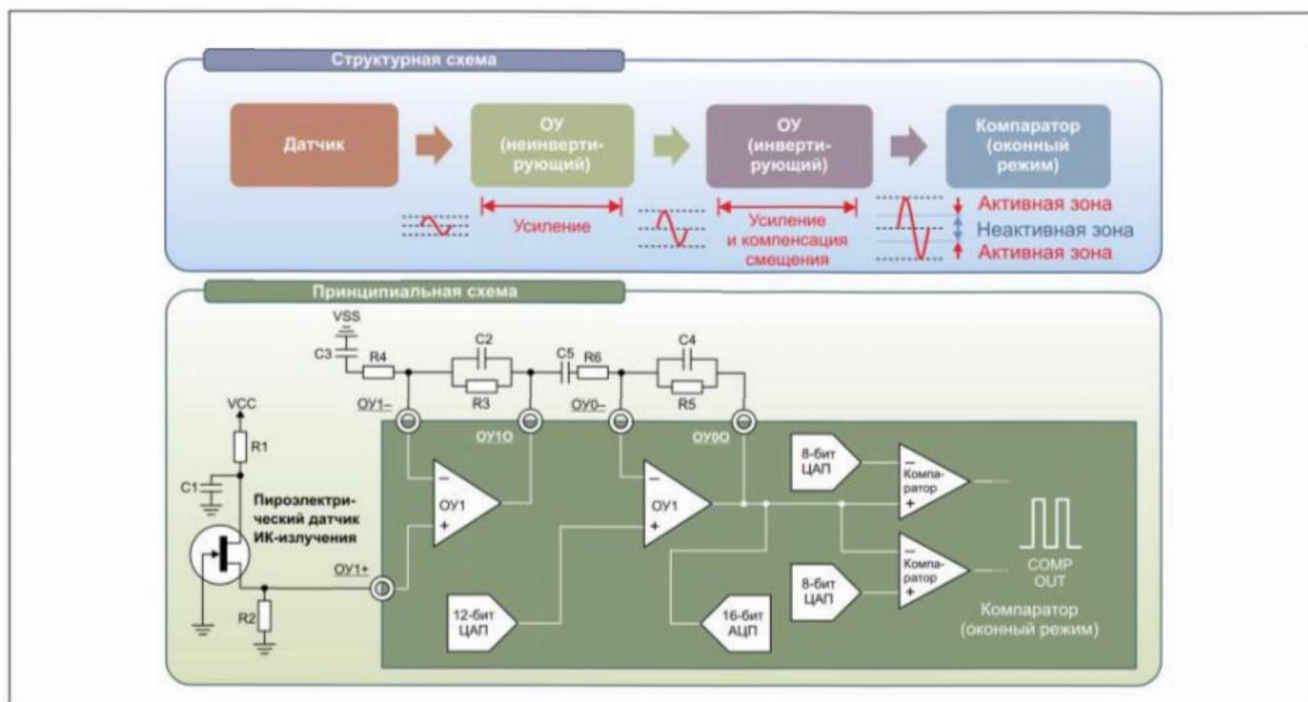


Рис. 3. Детектор инфракрасного излучения на основе RA2A1

модуль для расчета контрольной суммы CRC, позволяющий сократить затраты процессорного времени на реализацию стандартных протоколов обмена по внутренним интерфейсам системы.

Следует отметить, что защита и контроль данных обеспечивается не только при общении с внешними устройствами. В составе микроконтроллеров RA2A1 и RA2L1 имеется специализированный защищенный блок оперативной памяти ECC (Error-Correcting Code Memory), способный охватить до половины ее секторов. При активации этого механизма содержимое оперативной памяти будет автоматически проверяться на наличие ошибок, возникающих, например, при эксплуатации устройства в сложной электромагнитной обстановке или при работе от нестабильного источника питания.

Для поддержки человеко-машинных интерфейсов микроконтроллеры групп RA2A1, RA2L1 и RA2E1 имеют специализированный контроллер сенсорных кнопок CTSU, способный контролировать до 32 емкостных клавиш. В микроконтроллерах RA2E2 этот модуль отсутствует, поскольку предполагается, что они будут использоваться в относительно простых устройствах, для управления которыми достаточно нескольких обычных кнопок.

Диапазон рабочих напряжений микросхем RA2 составляет 1,6–5,5 В, что позволяет питать их от большинства наиболее распространенных источников энергии, в том числе и от литиевых батареек. Микросхемы RA2 выпускаются в корпусах различных типов, способных работать в диапазоне температур окружающей среды $-40...+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ или $-40...+105\text{ }^{\circ}\text{C}$, а некоторые модели микросхем RA2E2 могут использоваться и в более жестких условиях, когда температура окружающей среды достигает $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Энергосберегающие технологии микроконтроллеров RA2

Наличие развитой и специализированной периферии еще не сделало ни один микроконтроллер специально предназначенным для использования в устройствах, критичных к уровню энергопотребления. Рассмотрим специфические решения, реализованные в микроконтроллерах RA2 и позволяющие позиционировать их в качестве

малопотребляющей аппаратной основы, в том числе и для устройств «Интернета вещей».

Энергопотребление микросхем, построенных по КМОП-технологиям, зависит от трех основных параметров: напряжения питания, тактовой частоты и размера технологического процесса. Разрешающая способность техпроцесса определяет физический размер внутренних элементов и, соответственно, величину паразитных емкостей, на перезаряд которых, собственно, и тратится энергия источника питания. Чем меньше размер техпроцесса, тем меньше энергопотребление микроконтроллера в активном режиме при той же тактовой частоте и том же рабочем напряжении. Однако от размера техпроцесса зависит и другой, не менее важный параметр энергопотребления — ток утечки, обусловленный неидеальностью диэлектрических материалов, используемых при производстве микросхем. И здесь присутствует обратная зависимость: чем меньше размер техпроцесса, тем больше ток утечки, который и вносит значительную составляющую в ток потребления микроконтроллера в спящем режиме (рис. 4).

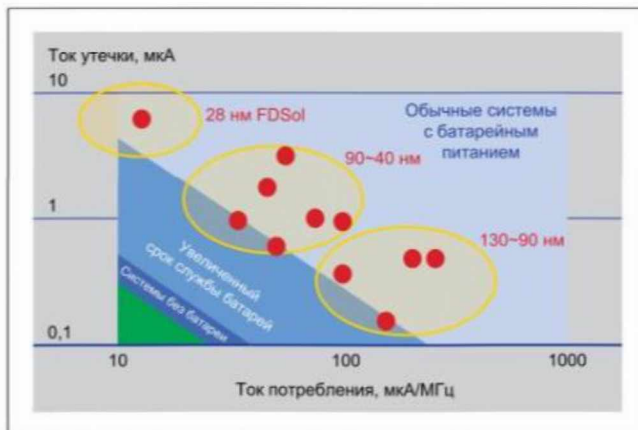


Рис. 4. Зависимость тока потребления и тока утечки от размера техпроцесса

Особенностью достаточно большого количества устройств «Интернета вещей», питающихся от батарей, является то, что они большую часть времени находятся в неактивных режимах (спящем режиме или режиме ожидания). Таким образом, для приложений с автономным питанием ток, потребляемый микроконтроллером в спящем режиме, имеет не меньшее значение, чем ток, потребляемый в активной фазе рабочего цикла.

Понимая это, компания Renesas изготовила микроконтроллеры RA2A1 по техпроцессу с разрешающей способностью 130 нм, а RA2L1, RA2E1 и RA2E2 — 110 нм. Такой подход позволил уменьшить ток потребления в спящих режимах с сохранением его на достаточно низком уровне при работе в режимах, требующих высокой производительности (табл. 2). Например, ток потребления самых экономичных микроконтроллеров группы RA2E2 в режиме ожидания при выключенном модуле RTC не превышает 200 нА, в то время как в активном режиме его значение остается на уровне, приблизительно равном 81 мкА/МГц.

Энергопотребление цифровых узлов, изготовленных по КМОП-технологиям, пропорционально квадрату напряжения питания, поэтому уменьшение данного параметра представляется эффективным способом снижения величины тока, потребляемого в активных режимах. Микроконтроллеры RA2 имеют расширенный диапазон напряжения питания 1,6–5,5 В, что подразумевает достаточно сильный разброс потребляемого тока при одной и той же частоте. Однако на практике этого не происходит, поскольку все внутренние узлы микросхем RA2 (в том числе и предназначенные для работы с аналоговыми сигналами), кроме портов ввода/вывода, подключаемых непосредственно к внешнему источнику, могут питаться от встроенного компенсационного стабилизатора, что делает величину тока потребления мало зависящей от напряжения питания.

Кроме того, в дополнение к обычному встроенному линейному регулятору напряжения микроконтроллеры группы RA2L1 имеют интегрированный импульсный понижающий преобразователь, позволяющий поддерживать внутреннее напряжение питания на уровне около 1,5 В при колебаниях входного напряжения в диапазоне 2,4–5,5 В. Переход на питание от импульсного преобразователя уменьшает величину потребляемого тока почти вдвое (табл. 2), однако при этом не следует забывать, что он доступен лишь при работе в активных режимах и его использование возможно лишь в части диапазона разрешенного напряжения питания микроконтроллера.

Еще один важный параметр, влияющий на величину потребляемого тока цифровых микросхем, — тактовая частота. Узлы микроконтроллеров RA2 способны работать от пяти источников тактового сигнала, каждый из которых может использоваться в качестве основного генератора системы:

- основной внешний тактовый генератор (Main-clock oscillator, MOSC);
- вспомогательный внешний тактовый генератор (Sub-clock oscillator, SOSC);
- высокочастотный встроенный генератор (High-speed on-chip oscillator, HOCO);
- среднечастотный встроенный генератор (Middle-speed on-chip oscillator, MOCO);
- низкочастотный RC-генератор (Low-speed on-chip oscillator, LOCO).

Традиционным источником тактового сигнала в активном режиме является основной тактовый генератор MOSC. Этот узел рассчитан на работу с внешним керамическим или кварцевым резонатором, частота которого может находиться в диапазоне 1–20 МГц. К тому же в системах, требующих синхронной работы нескольких микроконтроллеров, этот генератор может функционировать в режиме ведомого, поддерживая работу с внешними источниками сигналов с частотой до 20 МГц.

Традиционным дополнительным генератором, также часто устанавливаемым в микроконтроллерах, становится вспомогательный генератор SOSC, рассчитанный на использование внешнего кварцевого резонатора с частотой 32 768 Гц. Такие генераторы очень часто применяются для реализации часов реального времени, а также различных малопотребляющих таймеров.

Таблица 2. Ток потребления микроконтроллеров RA2 в разных режимах

Режим работы	RA2A1	RA2L1	RA2E1	RA2E2
Активный режим (Normal mode), мкА/МГц	108	114 (LDO) 64 (DC/DC)	100	81
Спящий режим (Sleep Mode), мкА/МГц	56	22 (LDO) 14 (DC/DC)	22	21
Программируемый режим ожидания (Software Standby mode), нА	без RTC	500	250	200
	с RTC	900	360	—

Ключевое преимущество генераторов, стабилизированных кварцевыми или керамическими резонаторами, — высокая точность выходной частоты. Однако при этом из-за наличия узлов, работающих в аналоговом режиме, их энергопотребление достаточно велико, что не всегда подходит для устройств с батарейным питанием. Более эффективными при работе от батарей представляются встроенные генераторы, не требующие внешних компонентов и отличающиеся пониженным энергопотреблением.

Микроконтроллеры RA2 имеют три основных встроенных генератора: HOCO, MOCO и LOCO. Интегрированный высокочастотный генератор HOCO может формировать одну из нескольких фиксированных частот (24, 32, 48 или 64 МГц) и использоваться вместо основного тактового генератора. Частота 64 МГц больше максимально допустимой частоты ядра (48 МГц), однако она может предназначаться для тактирования некоторых периферийных устройств, например АЦП и высокоскоростных таймеров. Низкочастотный генератор LOCO, рассчитанный на частоту около 32 768 Гц, может применяться в качестве замены более энергоемкого вспомогательного генератора SOSC. Особенность микроконтроллеров RA2 заключается в наличии отдельного генератора MOCO, создающего фиксированную частоту 8 МГц, который также может использоваться в качестве основного генератора системы. Включение встроенных генераторов после сброса микроконтроллера и их тактовая частота программируется в регистрах конфигурации, которые расположены в специальной области Flash-памяти (Option-Setting Memory), что позволяет исключить дополнительную программную настройку генераторов при старте приложения. Однако в дальнейшем их можно переключать программно.

Другие источники — независимый генератор сторожевого таймера 15 кГц (IWDWT-dedicated on-chip oscillator, IWDWTLOCO) и внешний источник тактового сигнала (External clock, SWCLK) — являются узкоспециализированными и используются для тактирования лишь ограниченного круга узлов. Следует отметить, что в микроконтроллерах RA2E2, изначально рассчитанных на эксплуатацию в устройствах «Интернета вещей» с автономным питанием, тактовые генераторы MOSC и SOSC отсутствуют, поэтому тактирование системы может осуществляться только от встроенных генераторов HOCO, MOCO или LOCO (табл. 3).

Наличие нескольких источников тактового сигнала позволяет динамически конфигурировать энергопотребление микроконтроллеров, используя частоту, реально необходимую в данном режиме работы (рис. 5). При этом, хотя выходная частота тактовых генераторов и фиксирована, большинство системных шин микроконтроллеров RA2 могут подключаться к источникам тактового сигнала через конфигурируемые делители частоты.

Таблица 3. Характеристики источников тактового сигнала

Источник тактового сигнала	Собственная частота	Стабилизация частоты	Подключение внешнего источника	Наличие в микроконтроллерах
MOSC	1–20 МГц	Внешний керамический или кварцевый резонатор	до 20 МГц	RA2A1 RA2L1 RA2E1
SOSC	32,768 кГц	Внешний кварцевый резонатор	Не поддерживается	Все группы
HOCO	24, 32, 48, 64 МГц	Внутренние схемы без использования внешних компонентов		
MOCO	8 МГц			
LOCO	32,768 кГц			
IWDWTLOCO	15 кГц			
SWCLK	—	—	до 12,5 МГц	

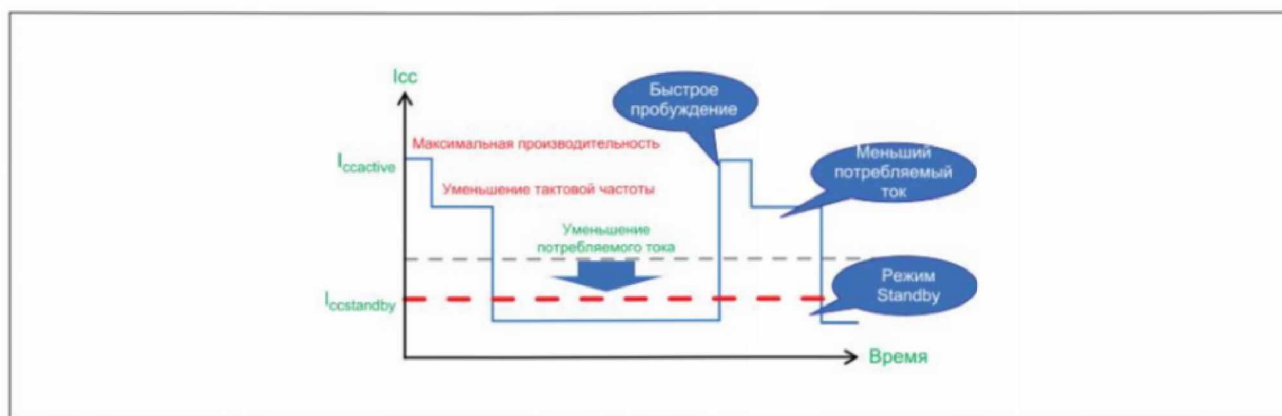


Рис. 5. Динамическая регулировка потребляемого тока путем изменения тактовой частоты

Кроме того, столь широкий выбор источников тактирования обусловлен необходимостью подбора других характеристик генераторов для оптимального режима работы микроконтроллера в целом. Например, встроенный генератор МОСО может просыпаться из Standby-режима за самое минимальное время в широком диапазоне рабочих напряжений (для RA2L1 это 4 мкс), а встроенный генератор НОСО сохраняет свою 1%-ную точность во всем диапазоне рабочих напряжений и во всем диапазоне рабочих температур (для RA2L1 это 1,6–5,5 В и $-40...+105^{\circ}\text{C}$).

В микроконтроллерах RA2L1, RA2E1 и RA2E2 возможны четыре режима работы с разным значением системной тактовой частоты ICLK (табл. 4). Частоты тактирования периферийных модулей при этом могут быть другими. Каждый из режимов возможен в своем диапазоне напряжений питания, поэтому перед переходом в новый режим желательно убедиться, что его величина находится в допустимых пределах. Обратите внимание, что запись во Flash-память, в отличие от чтения из нее, может осуществляться при тактовой частоте не ниже 1 МГц, поэтому в некоторых режимах, например при тактировании системной шины от вспомогательного генератора (Subosc-speed mode), так же как и при некоторых напряжениях питания, операции записи в данный вид памяти невозможны.

В микроконтроллерах RA2A1, изготовленных по техпроцессу с другой разрешающей способностью, максимальные частоты чтения и записи во Flash-память отличаются от микроконтроллеров иных групп (табл. 5). Кроме того, в микросхемах указанной группы существует дополнительный режим работы с пониженным напряжением (Low-voltage mode).

Таблица 4. Режимы работы микроконтроллеров RA2L1, RA2E1, RA2E2

Режим работы	Напряжение питания, В	Частота чтения из Flash-памяти, МГц	Частота записи во Flash-память, МГц
High-speed mode	1,8–5,5	0,32/68–48	1–48
	1,6–1,8	0,32/68–4	1–4
Middle-speed mode	1,8–5,5	0,32/68–24	1–24
	1,6–1,8	0,32/68–2	1–2
Subosc-speed mode	1,6–5,5	0,02/78528–0,03/6832	Невозможна

Таблица 5. Режимы работы микроконтроллеров RA2A1

Режим работы	Напряжение питания, В	Частота чтения из Flash-памяти, МГц	Частота записи во Flash-память, МГц
High-speed mode	2,4–2,7	0,32/68–16	Невозможна
	2,7–5,5	0,32/68–48	1–48
Middle-speed mode	1,8–2,4	0,32/68–8	1–8
	2,4–5,5	0,32/68–12	1–12
Low-voltage mode	1,6–1,8	0,32/68–4	Невозможна
	1,8–5,5	0,32/68–4	1–4
Low-speed mode	1,8–5,5	0,32/68–1	Невозможна
Subosc-speed mode	1,8–5,5	0,02/78528–0,03/6832	Невозможна

Энергосберегающие режимы микроконтроллеров RA2

В активном состоянии ядро и периферийные модули микроконтроллера находятся в режиме Normal. В этом режиме производительность микроконтроллера максимальна, а потому единственным способом снижения энергопотребления является уменьшение тактовой частоты и отключение неиспользуемых модулей (естественно, без ущерба для обеспечиваемых функций).

Когда потребности в таком уровне производительности нет, микроконтроллер можно перевести в режим Sleep, позволяющий уменьшить величину потребляемого тока как минимум в два раза (табл. 2). В режиме Sleep ядро микроконтроллера останавливается, содержимое оперативной памяти и внутренних регистров сохраняется, однако периферийные модули и тактовые генераторы продолжают работу и способны вернуть систему в активный режим.

Несмотря на то что энергопотребление в режиме Sleep значительно меньше, чем в режиме Normal, во многих случаях энергия батареи все равно расходуется нерационально. Единственным преимуществом спящего режима является самая быстрая — буквально за несколько периодов тактовой частоты — активизация всех узлов микроконтроллера, поэтому он часто используется в ситуациях, когда система должна среагировать на определенное событие в течение нескольких микросекунд или еще быстрее.

С точки зрения энергопотребления более эффективным считается конфигурируемый режим ожидания (Software Standby). Здесь работа ядра, Flash-памяти, тактовых генераторов и большинства периферийных модулей останавливается. Тем не менее наличие напряжения питания позволяет сохранить состояние всей оперативной памяти и внутренних регистров периферийных модулей, в том числе и портов ввода/вывода (микросхемы RA2L1 при этом переходят на питание от LDO-стабилизатора), поэтому при возврате в активное состояние повторная инициализация системы также не требуется. Режим Software Standby уменьшает энергопотребление микроконтроллера до максимально возможной величины (табл. 2).

Полный список узлов, способных работать в этом состоянии, зависит от модели микроконтроллера и приведен в его технической документации. В большинстве случаев типовыми событиями, позволяющими вернуть систему в режим Normal, являются события, связанные с портами ввода/вывода (изменение сигнала на выводах микросхемы), компараторами (уменьшение/увеличение напряжения выше определенного порога), часами реального времени (пробуждение по расписанию), независимым сторожевым таймером, и многие другие. При выходе из режима Software Standby возникает прерывание, поэтому вычислительное ядро в любом случае продолжит выполнение программы с инструкций, связанных с обработкой события, пробудившего микроконтроллер. Поскольку в режиме Software Standby большинство тактовых генераторов остановлено, то для воз-

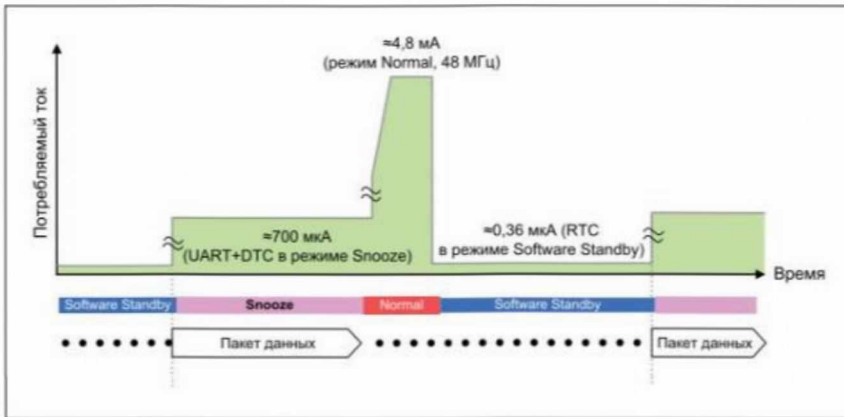


Рис. 6. Пример работы микроконтроллера с использованием режима Snooze

врата в активное состояние требуется больше времени, чем при выходе из режима Sleep.

При возврате из режимов Sleep и Software Standby ядро микроконтроллера переходит в режим Normal. Однако иногда такое поведение системы может быть нерациональным с точки зрения энергопотребления. Дело в том, что многие события могут не требовать обязательной обработки ядром измененного состояния либо новых данных. Однако в обычных микроконтроллерах периферийный модуль, пробуждающий микроконтроллер, в любом случае переводит его в активный режим с последующим расходом некоторого количества заряда батареи.

Специально для подобных ситуаций в микроконтроллерах RA2 был реализован уникальный энергосберегающий режим Snooze (режим «полудремы»), особенностью которого является возможность совместной работы периферийных модулей и системы тактирования без участия ядра. По сути, Snooze-режим — это переход из режима Software Standby, когда включается только выбранный тактовый генератор и выбранная периферия, которая, обработав событие, снова возвращает систему в режим Software Standby, либо периферия может принять самостоятельно решение о просыпании ядра

(режим Normal) для дальнейшей обработки. Типичный пример «умной» периферии, способной работать в режиме Snooze, — блок АЦП. После завершения работы АЦП сверяет значение преобразования с программируемыми регистрами верхнего и нижнего порогов для принятия решения о просыпании ядра. В совокупности с другими аппаратными средствами, которые могут работать в Snooze-режиме, в частности модулем обмена данными (Data Transfer Controller, DTC), модулем обработки данных (Data Operation Circuit, DOC) и контроллером событий (Event Link Controller, ELC), микроконтроллеры RA2 превращаются в мощный инструмент, позволяющий реализовать достаточно сложные алгоритмы взаимодействия с минимальными затратами энергии.

Ощутить всю мощь этого механизма можно на еще одном практическом примере. Рассмотрим некоторое автоматизированное устройство — газоанализатор с батарейным питанием, связывающийся с внешним контроллером по интерфейсу UART, который используется как единая шина для нескольких датчиков. Для экономии энергии газоанализатор большую часть времени должен находиться в режиме Software Standby, выход из которого возможен, например, при

получении команды по интерфейсу UART. Поскольку модуль SCI, отвечающий за обмен данными по интерфейсу UART, в режиме Software Standby неактивен, в том числе и из-за остановки тактового генератора, то в обычном микроконтроллере, находящемся в аналогичном режиме, изменение напряжения на входе UART, свидетельствующее о приеме стартового бита, потребовало бы обязательного перехода в режимы Normal или Sleep.

Однако микроконтроллеры RA2 можно перевести в режим Snooze, в котором активизируются: нужный тактовый генератор (в зависимости от скорости работы интерфейса UART можно выбрать HOCO или MOCO), модуль SCI и модуль передачи информации DTC. В этом режиме прием пакета может происходить без участия ядра — вся информация, принятая модулем SCI через систему DTC, будет сохранена в оперативной памяти. При необходимости в этом же режиме с помощью модуля DOC можно осуществить первичную обработку принятой информации, в частности проверку адреса устройства по одному из принятых слов в сообщении. Таким образом, микроконтроллер RA2 может быть переведен в активный режим не сразу после начала передачи данных, как в традиционных микросхемах, а после приема и успешной первичной проверки всего пакета (рис. 6). Очевидно, что количество энергии, потраченной от батареи, в этом случае будет наименьшим из всех возможных сценариев поведения в данной ситуации.

Заключение

Как видно из этого обзора, микроконтроллеры RA2 являются мощной аппаратной основой, позволяющей создавать не только высокопроизводительные, но и экономичные системы. При этом уникальность данных микросхем заключается не только в применении какой-либо одной специфической технологии, а в наличии целого комплекса решений, способных успешно реализовать даже самое сложное техническое задание.

Москва, 105275
ул. Уткина Дом 40

ООО ТЕХНО

Тел: (495) 735-44-29
http://www.techno.ru
e-mail: ywg@techno.ru

Принадлежности к пневматическим дозаторам

Шприцы 3, 5, 10, 30, 55 куб.см
Адаптеры шприцов 10-55 куб.см
Наконечники различных типов blunt и luer lock от 0.11 до 1.6 мм
Картриджи 70, 170, 226, 340 мл

ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ
опытное и серийное производство,
проектирование, монтаж

**КОНТРАКТНАЯ РАЗРАБОТКА
И ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОНИКИ**

ООО «Вектор-Технолоджи»
194044, Санкт-Петербург
Чугунная ул. д. 20
www.vedtech.spb.ru
E-mail: vedtechspb@yandex.ru
(812) 329-38-01