

# ВЫБОР ПРОЦЕССОРА С НИЗКИМ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ

**ДЖОН ДИКСОН (JOHN DIXON)**, менеджер линейки процессоров с низким энергопотреблением, компания Texas Instruments

*В статье подробно описываются основные критерии выбора процессоров с низким энергопотреблением на примерах DSP компании TI, перечисляются основные варианты DSP в соответствии с их функциональными особенностями, проводится оценка возможностей этих устройств, а также даются практические рекомендации по их применению.*

До недавнего времени меньшее энергопотребление ЦПУ достигалось, как правило, либо за счет малой тактовой частоты, что приводило к снижению его функциональности, либо за счет новых энергосберегающих технологий. Однако в настоящее время ситуация с процессорами значительно изменилась. Прогресс в технологиях производства наряду с инновационным проектированием микросхем и с использованием программного обеспечения для управления электропитанием привели к созданию совершенно новых семейств процессоров с низким энергопотреблением, и необходимость чем-то жертвовать при разработке отпала. Разумеется, ни одно устройство не является совершенным, и потому для выбора процессора, который лучше всего подойдет для конкретного применения, инженеры должны тщательно обдумать все системные требования и изучить постоянно растущий ряд процессоров с низким энергопотреблением.

В статье с помощью таблицы описываются современные критерии выбора устройств. В ее шапке перечислены следующие наиболее важные критерии проектирования для разработчиков систем:

- потребляемая мощность;
- производительность;
- уровень интеграции;
- время выхода на рынок;
- цена.

В остальных строках таблицы перечислены основные варианты процессо-

ров в соответствии с их функциональными особенностями. Далее в статье поясняются общие критерии выбора процессоров, а также проводится их оценка. Такой способ изложения преследует две цели: во-первых, системотехники получают сведения о новейших типах устройств на рынке (причем, некоторые из них мало известны), а, во-вторых, разработчики смогут ограничить свой выбор лучшей микросхемы из постоянно растущего списка изделий.

## КРИТЕРИИ ВЫБОРА

Чтобы сориентироваться среди различных устройств с низким энергопотреблением, следует обратиться к таблице 1, в которой основные типы процессоров с низким энергопотреблением классифицируются с учетом нескольких важных для разработчиков критериев. Прежде всего, необходимо отметить тесную взаимосвязь этих критериев. Например, интегрирование на одной микросхеме большого числа таких функций как наличие нескольких процессорных ядер, аналоговые компоненты, большой объем памяти или множество периферийных устройств может снизить общее энергопотребление системы, ее стоимость и время выхода на рынок. Однако чрезмерная интеграция такого рода может привести к нежелательному дополнительному потреблению мощности и усложнить программирование, что увеличит время выхода на рынок.

**Потребляемая мощность.** Для многих современных разработок это наи-

более важный критерий. Повышенная продолжительность автономной работы портативных изделий — большой плюс, с точки зрения потребителя. В сетевом оборудовании меньшее энергопотребление ведет к меньшему рассеянию тепла, которое сдерживает рост плотности каналов или дополнительных функциональных возможностей. Существуют также устройства с определенным лимитом энергопотребления, например изделия с питанием от порта USB или электроника с питанием от автомобильного аккумулятора, для работы которой выделен бюджет всего лишь в несколько милливатт.

Вопрос энергопитания следует тщательнее рассматривать с точки зрения всей системы. Правильное сочетание периферийных устройств на микросхеме приводит к большой экономии энергии в масштабах всего изделия. Это связано не только с тем, что внешние устройства потребляют дополнительную энергию, но и с тем, что на передачу данных по проводникам печатной платы уходит намного больше энергии по сравнению с перемещением данных внутри устройства.

Для отдельных устройств энергоэффективность определяется соответствующими преимуществами конкретного технологического процесса изготовления, но это лишь немного из того, что реализовано в усовершенствованных процессорах. Потребление энергии можно рассматривать как совокупность двух основных режимов: во-первых,

Табл. 1. Оценка DSP с малым потреблением

	Потребляемая мощность	Производительность	Интеграция	Время выхода на рынок	Цена
ARM + DSP (плавающая точка)	Отлично	Хорошо	Хорошо	Отлично	Хорошо
ARM + DSP (фиксированная точка)				Хорошо	Отлично
ARM + аудиосопрощенный процессор	Хорошо	Удовлетворительно	Удовлетворительно	Отлично	Хорошо
Только ARM				Хорошо	Отлично
Высокопроизводительный DSP (фиксированная точка)	Отлично	Хорошо	Отлично	Хорошо	Отлично
Высокоточный DSP (плавающая точка)				Отлично	Хорошо
Энергосберегающий DSP + сопроцессор	Хорошо	Удовлетворительно	Отлично	Хорошо	Хорошо
Высокопроизводительный ARM + DSP + сопроцессор					Отлично

активное энергопотребление при переключении транзисторов и обработке входящих данных; во-вторых, статическое энергопотребление, когда данные обрабатываются в ограниченном объеме или не обрабатываются вовсе, а компоненты находятся в спящем режиме.

В режиме активного управления питанием используются следующие методы.

– **DVFS (Dynamic voltage and frequency scaling — динамическое масштабирование напряжения и частоты).** Тактовые частоты и напряжение понижаются командами от программного обеспечения в зависимости от производительности конкретного приложения. Например, даже если ядро ARM мультимедийного процессора способно работать на частоте 600 МГц, вся его мощность не используется постоянно. Для снижения потерь программное обеспечение выбирает одно из заданных значений производительности, при котором процессор работает с определенным быстродействием.

– **AVS (Adaptive voltage scaling — адаптивное масштабирование напряжения).** Этот метод основан на том факте, что однотипные процессоры имеют некоторый разброс рабочих характеристик. При заданных требованиях к рабочей частоте некоторые т.н. «разгоняемые» устройства могут достигать определенного уровня производительности при меньшем напряжении, чем «холодные» устройства. В этой ситуации процессор самостоятельно определяет уровень своей производительности и регулирует источники питающего напряжения таким образом, чтобы компенсировать различия в скорости обработки данных, температуре и в характеристиках.

– **DPS (Dynamic power switching — динамическая коммутация питания).** В этом методе определяется момент, когда потребность в том или ином компоненте устройства, который выполнил текущие задачи, временно отсутствует, после чего он переводится в состояние с низким энергопотреблением. Примером подобного управления может служить ситуация, при которой процессор переходит в состояние с низким энергопотреблением, ожидая завершения передачи данных при организации прямого доступа к памяти (DMA).

Статическое управление электропитанием выполняется, когда данные обрабатываются в ограниченном объеме или вообще не обрабатываются. При этом выбранные компоненты переходят в режим с очень низким энергопотреблением, а система ожидает активизирующего события. С помощью метода статического управления утечкой можно выбрать ряд режимов низкого энергопотребления — от ожидания до полно-

го отключения электропитания. Выбор конкретного статического режима энергопотребления зависит от того, какая часть памяти остается активной, или от скорости перехода в активный режим.

Благодаря этим функциям большинство процессоров с низким энергопотреблением имеет мощность в режиме ожидания в пределах 15 мВт и пиковую рабочую мощность менее 400 мВт. Однако у некоторых DSP с фиксированной точкой, например у процессора TMS320C55x компании Texas Instruments, эти значения понижены до 0,50 мВт в режиме ожидания и до 75 мВт — в режиме пиковой производительности, даже несмотря на наличие сопроцессора БПФ, 320 КБ памяти и периферийных устройств ввода-вывода.

В большинстве из приведенных в таблице изделий реализованы многие, если не все названные энергосберегающие функции, поэтому такие устройства заслужили оценку «отлично». Устройства с оценкой «хорошо» представляют собой микросхемы самой высокой производительности, обычно с несколькими ядрами, что естественным образом несколько увеличивает потребление мощности.

**Производительность.** Этот критерий важен, поскольку повышенная производительность обработки данных дифференцирует продукты для конечных пользователей, позволяя задействовать новые функции, а также предоставлять большее число каналов на единицу стоимости или площади, повышать скорости обмена данными, создавать схемы с большей плотностью и с высоким качеством сжатия данных.

Стремясь повысить производительность, инженеры должны учитывать не только тактовую частоту, но и возможность параллельной работы. Большой прирост производительности обеспечивают микросхемы, в которых интегрированы DSP, ARM или сопроцессоры в разных комбинациях, как например в платформе OMAP. Инженеры могут разделять программный код таким образом, чтобы он выполнялся на наиболее приспособленном для этого процессорном ядре. Преимуществами параллельной организации работы можно воспользоваться даже на устройствах с единственным ядром. Например, благодаря восьми блокам обработки команд, функционирующим параллельно на частоте 300 МГц, одно ЦПУ в DSP TMS320C640x с фиксированной точкой и низким энергопотреблением имеет чрезвычайно высокую производительность обработки. При том же низком лимите энергии это устройство обеспечивает удвоенную производительность обработки по сравнению с другими предлагаемыми на рынке процессорами с низким энергопотреблением.

Помимо интеграции процессорных элементов, к существенному повышению производительности может привести встраивание других компонентов системы. Например, наличие достаточного объема встроенной памяти означает, что центральный процессор может обрабатывать программные коды намного быстрее, чем он мог бы это делать при более частом импорте и экспорте данных.

Независимо от характера проектируемой системы — мультимедийного приложения или системы с ограниченной функциональностью, но требующей по возможности меньшего энергопотребления — разработчики могут выбрать процессор, обладающий в точности необходимой вычислительной мощностью.

В представленной таблице диапазон производительности от уровня «удовлетворительно» до «отлично» обычно является функцией того, сколько ядер и встроенной периферии имеет то или иное устройство. Как всегда, существует определенный компромисс между производительностью и потребляемой мощностью.

**Интеграция.** Очевидно, что этот аспект тесно связан с производительностью. Как было отмечено, ряд микросхем позволяет разработчикам выбирать на одном кристалле некоторые или все из следующих элементов: DSP, ARM9 или сопроцессор. В современных устройствах могут размещаться и другие важные системные компоненты. Хорошим примером служит встроенная память, которая снижает общую стоимость решения, сберегает энергию в масштабах системы и облегчает разработку. Некоторые процессоры с низким энергопотреблением содержат почти полмегабайта памяти непосредственно на кристалле. В качестве примера можно привести прикладные процессоры OMAP-L1x компании TI. Во многих случаях такое решение исключает необходимость в какой-либо внешней памяти.

В современные процессоры встраивается гораздо более широкий ряд периферийных устройств, включая аналоговые компоненты. Ярким примером является аналого-цифровой преобразователь SAR (с регистром последовательных приближений). Преобразователи SAR применяются, например, для создания интерфейса сенсорных дисплеев, широко распространенных в устройствах бытового назначения. Другим примером служит uPP (универсальный параллельный порт), позволяющий выполнять прямое подключение ко многим другим компонентам в системе, например к быстродействующим АЦП или к FPGA. В современных процессорах с низким энергопотреблением можно

также найти встроенную поддержку сети с MAC-адресами Ethernet, USB 2.0, интерфейс Serial ATA (SATA) для запоминающих устройств большой емкости, периферии SDIO для таких функций ввода-вывода как поддержка беспроводных локальных сетей, контроллеров жидкокристаллических дисплеев и интерфейсов портов видеоадаптера.

В таблице оценка «отлично» относится к устройствам, имеющим несколько ядер или сопроцессор, а также различные периферийные устройства; оценка «хорошо» характеризует устройства с единственным процессорным ядром, но с большим количеством памяти или периферийных устройств; оценка «удовлетворительно» поставлена процессорам с меньшим количеством периферии, которые, однако, имеют низкое энергопотребление и стоимость.

**Время выхода на рынок.** Этот аспект становится все важнее, поскольку скорость обновления потребительских товаров продолжает возрастать, а жизненный цикл изделия сокращается с нескольких лет до нескольких месяцев. Не успеет новейшее и лучшее устройство появиться на магазинных прилавках, как несколькими месяцами или неделями спустя конкурент выпускает товар со значительно более привлекательными функциями.

Время выхода на рынок тесно связано с уровнем интеграции. Очевидно, что если компоненты встроены в микросхему, инженерам требуется меньше времени на разработку и отладку, поскольку отсутствует потребность в разработке интерфейсов и средств обмена данными, необходимыми для координирования работы нескольких микросхем. Кроме того, затрачивается меньше усилий на организацию межсоединений печатной платы и работу с отдельными драйверами.

В том случае если на одном кристалле находится несколько ядер или периферийных устройств, инженерам необходимы соответствующие программные инструменты, помогающие манипулировать этими компонентами. Например, в случае комбинации ядер ARM и DSP хороший набор инструментальных средств позволит разрабатывать приложения, использующие ресурсы обоих ядер в рамках одной среды программирования. Помимо этого, разработчики должны также следить за тем, какие другие средства предлагают поставщики процессоров — сторонние библиотеки алгоритмов, оптимизированные для работы нескольких ядер, например Simulink от Matlab или LabVIEW от National Instruments; оценочные и макетные платы, а также операционные системы и факультативные программные средства с открытым исходным кодом.

Все эти факторы важны для сокращения времени на разработку и вывода продукции на рынок в установленные сроки или раньше.

Последний аспект, о котором не следует забывать, заключается в том, что устройства с плавающей точкой, например DSP TMS320C674x, менее сложны в программировании. Зачастую разработчики пишут программный код на персональных компьютерах, используя такие хорошо известные инструментальные средства как Simulink и LabVIEW, а затем переносят программы на DSP с очень небольшими изменениями, если таковые потребуются. В целом, однако, следует отметить, что чем выше производительность той или иной микросхемы, тем больше времени затрачивается на разработку. Для более сложных изделий, требующих определенного уровня эксплуатационных показателей, разработка и отладка программного кода, очевидно, займут больше времени.

Наконец, инженеры всегда должны помнить о будущем поколении своих устройств. На некоторых рынках стандарты подвержены быстрому изменению, а компании желают оперативно выходить на эти рынки. Таким образом, разработчики должны создавать отвечающие будущим требованиям микросхемы, которые можно модернизировать с учетом изменений в стандартах или дополнить новыми функциями. Поэтому при рассмотрении того или иного семейства процессоров важно проверить их программную совместимость и совместимость по выводам. Другими словами, следует установить, можно ли будет при необходимости нарастить вычислительную мощность с минимальными изменениями в общей конструкции системы и в программном коде.

В приведенной таблице оценка «отлично» дана устройствам с широкой поддержкой как в плане аппаратного, так и программного обеспечения. Оценка «хорошо» присвоена устройствам с меньшим уровнем интеграции, что подразумевает использование большего числа внешних периферийных устройств или памяти и связанную с этим трудоемкость проектирования.

**Цена.** При оценке этого критерия инженеры должны учитывать не только стоимость микросхем, которая упала настолько, что большинство процессоров с низким энергопотреблением стоит не более 15 долл. и, в зависимости от цены топологических элементов ИС, может опуститься до 4 долл. Цена каждого компонента критична в бытовых приложениях, но она играет меньшую роль в сетевых или коммерческих применениях, где большее внимание уделяется вопросам стоимости владения и эффективности.

Инженеры должны в большей степени принимать во внимание полную стоимость системы. Снова обратимся к примеру с памятью. Если запускать все алгоритмы устройства во встроенной памяти, можно сэкономить один-два доллара на микросхемах внешней памяти, потребность в которых отпадает. Значительная экономия в масштабах системы (до 9 долл.) достигается за счет комбинации интегрированных компонентов, например SATA, Ethernet, оперативной памяти, USB 2.0, ядра ARM9, как видно на примере прикладных процессоров OMAP-L1X и других периферийных устройств с высоким уровнем интеграции, упомянутых в разделе «Интеграция».

Помимо цены микросхем, инженеры также должны оценивать простоту проекта. Этот аспект охватывает программные и аппаратные инструментальные средства разработки, техническую поддержку, обучение, поддержку от сторонних разработчиков, документацию, продолжительность периода разработки и ее накладные расходы, а также одно-разовые затраты на проектирование. Подводя итоги, можно сказать, что более быстрая разработка может обеспечить и более высокое качество конечных продуктов, поскольку время и денежные средства расходуются на видоизменение проекта, а не на создание всей его инфраструктуры.

Таким образом, инженеры должны учитывать не только стоимость макетных плат и эмуляторов, но также их качество и то, насколько эти средства позволяют ускорить разработку проектов. Высококачественные интегрированные среды разработки (IDE) и компиляторы обеспечивают разработчикам лучшую оценку своих проектов и сокращают время выхода на рынок. Рекомендуется искать таких поставщиков полупроводниковых компонентов, которые предоставляют не требующие лицензионных отчислений операционные системы, проверенный готовый программный код от сторонних разработчиков, например кодеки для разработок на базе DSP, а также САПР, которые позволят быстро реализовать проект.

Кроме того, не следует забывать о затратах на компоновку и изготовление платы. Важно учитывать не только число устройств, но и шаг выводов каждого изделия. Устройства с малым шагом выводов требуют более высоких затрат при компоновке и изготовлении на системном уровне.

В приведенной таблице цена, как правило, обратно пропорциональна числу ядер и встроенных периферийных устройств. Очевидно, что чем больше число подобных компонентов, тем дороже устройство и больше усилий

потребуется затратить на разработку, поскольку такие устройства предназначены для наиболее совершенных портативных систем. Например, в единственную категорию, удостоившуюся оценки «удовлетворительно» по этому показателю, попал высокопроизводительный прикладной процессор с процессорными ядрами DSP, ARM и сопроцессором.

#### **ПРИЛОЖЕНИЯ С НИЗКИМ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ**

Даже с помощью этой таблицы выбор лучшего устройства для конкретного приложения не так прост. В проекте всегда остается место компромиссам. Однако краткое обсуждение требований приложения может послужить неким ориентиром. Число применений, требующих низкого энергопотребления, значительно выросло, так что целесообразно разбить их на следующие несколько больших категорий.

– Подключаемые изделия, или изделия с питанием от порта USB, например автомобильные головные гарнитуры, ключи GPS, сенсорные экраны или устройства громкоговорящей связи.

– Приложения с автономной работой не менее суток. В качестве примера можно привести беспроводные микрофоны, музыкальные инструменты,

наушники с шумоподавлением, беспроводные принтеры и даже многопараметрические переносные медицинские приборы.

– Приложения с автономной работой до двух недель: например, устройства для записи музыки, электронные книги, дверные замки с авторизацией по отпечатку пальца или однопараметрические портативные медицинские приборы.

Другой способ классификации приложений состоит в их разделении на группы исходя из функциональности. Например, переносной музыкальный инструмент или портативное аудиоустройство с большим динамическим диапазоном должны обеспечить высокую точность. Такой уровень точности и динамический диапазон обычно требуют применения процессоров с плавающей точкой, например процессоров семейства C674x. Эти DSP имеют самое низкое энергопотребление в отрасли (начиная с 15 мВт).

В случае приложений, использующих графический пользовательский интерфейс с богатыми функциональными возможностями, хорошим выбором станет устройство на базе процессорного ядра ARM. Благодаря интеграции процессорных ядер ARM и DSP в таких устройствах

как прикладные процессоры OMAP-L1x существует полная возможность реализовать графический интерфейс, а также поддерживать сложные задачи обработки данных.

Помимо этого, существуют портативные изделия с продолжительным временем автономной работы. К ним относятся диктофоны и аудиоплееры, электронные книги, радиомикрофоны или даже домашние медицинские мониторы, которые надеваются на запястье руки. Процессоры, ориентированные на режим низкого энергопотребления, подобные DSP TMS320C550x, обеспечивают автономную работу в течение нескольких недель благодаря активному использованию режима глубокого сна (6,8 мВт) и режима ожидания (0,5 мВт).

#### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Как неоднократно упоминалось в этой статье, все параметры выбора для процессора с низким энергопотреблением тесно взаимосвязаны. Ранее более высокая производительность подразумевала повышенное энергопотребление, но в настоящее время уровень потребляемой мощности системы настолько снизился, что практически для любого применения можно найти процессор с низким энергопотреблением.