

СИСТЕМЫ С DDR SDRAM – ОБЕСПЕЧЕНИЕ БАЛАНСА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ

Г.Эллэн

Сегодня разработчики стремятся включить как можно больше функций в системы на кристалле (SoC). Для реализации этих функций в SoC нужна высокопроизводительная память. Оптимальным выбором обычно является синхронная динамическая память с произвольным доступом и удвоенной скоростью передачи данных (DDR SDRAM). Но ее недостаток – достаточно высокое энергопотребление, что создает проблемы как для мобильных, так и для стационарных электронных устройств, где используются SoC. Поэтому при разработке подсистем DDR SDRAM необходимо применять специальные решения, позволяющие значительно снизить потребляемую ими энергию. О том, как это сделать, рассказывается в статье.

ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ В МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ

Управление электропитанием является первоочередной задачей для мобильных устройств, так как они работают от батарей. Емкость батарей постоянно возрастает, но использование многозадачных приложений увеличивает потребляемую энергию. Мультизадачность предъявляет высокие требования также к полосе пропускания от подсистемы DDR SDRAM, что часто приводит к повышению тактовых частот и, как следствие, к увеличению энергопотребления. Очевидно, для

Сведения об авторе

Грэм Эллэн занимает должность руководителя по маркетингу направления DDR PHY в компании Synopsys. Он также является членом совета JEDEC, ответственного за развитие стандартов SDRAM и DDR. Г.Эллэн имеет свыше 20 патентов в области архитектур и протоколов памяти.

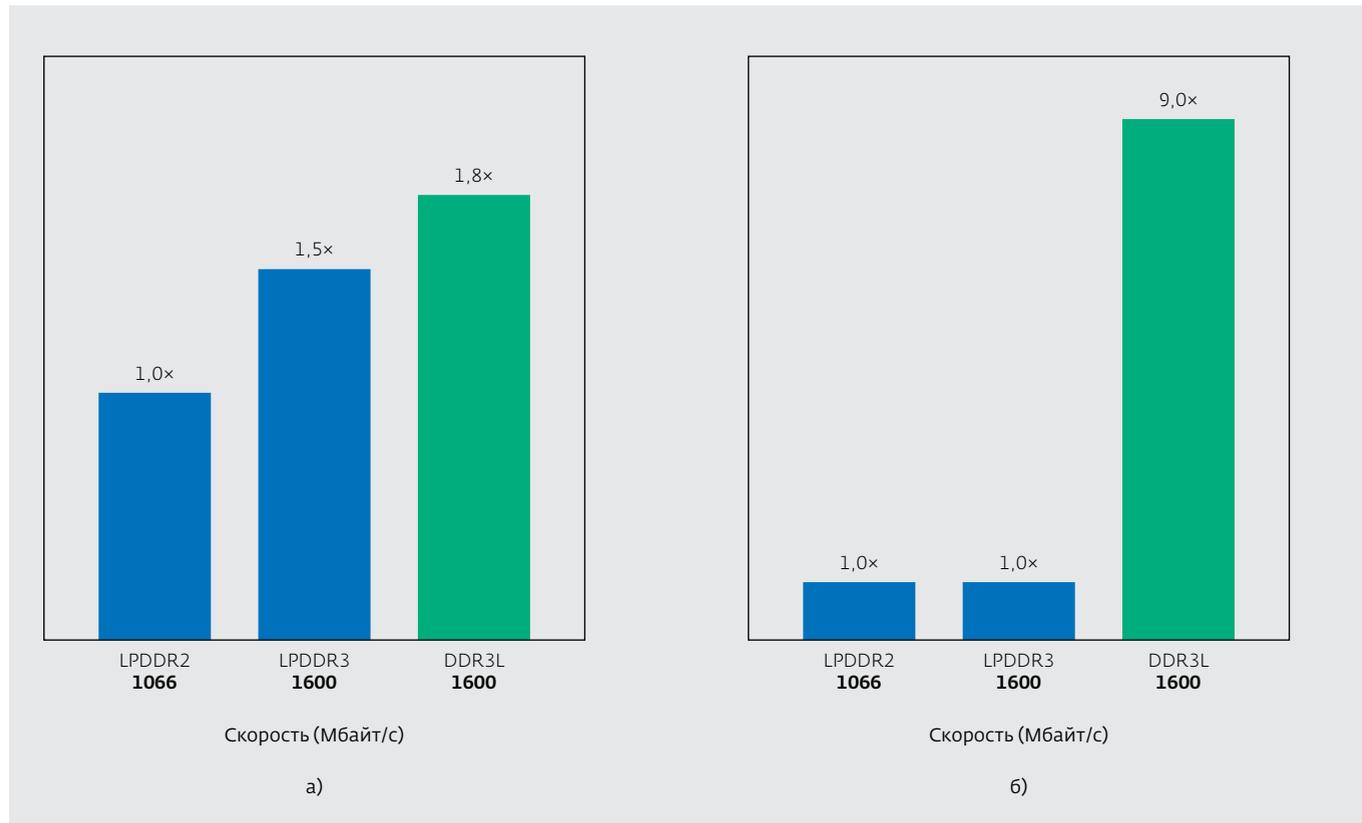
того, чтобы мобильные устройства могли дольше работать, необходимо уменьшить потребляемую ими энергию.

Мобильные устройства не используются непрерывно, поэтому управление электропитанием должно быть направлено на уменьшение энергопотребления в двух режимах: активном (во время использования устройства) и ожидания (когда устройство включено, но не активно). В мобильных устройствах, как правило, применяют память SDRAM с низким энергопотреблением, такую как Low Power DDR2 (LPDDR2) или Low Power DDR3 (LPDDR3). LPDDR SDRAM разрабатывалась таким образом, чтобы потреблять меньше энергии в активном режиме, но главный акцент был сделан на уменьшении энергопотребления в режиме ожидания. В этом ее отличие от наиболее распространенной памяти DDR3L SDRAM (DDR3 с рабочим уровнем сигналов 1,35 В), которая потребляет немного больше энергии (при одинаковой тактовой частоте) в активном режиме, но приблизительно в девять раз больше – в режиме ожидания (см. рисунок).

Память LPDDR2 и LPDDR3 имеет несколько особенностей, позволяющих обеспечить низкое энергопотребление в мобильных устройствах: пониженное напряжение питания ввода/вывода, частичную саморегенерацию массива данных (partial array self-refresh – PASR) и режим глубокого сна (Deep Power Down). Разработчики SoC для мобильных устройств используют эти и другие особенности для минимизации энергопотребления SDRAM.

Пониженное напряжение питания ввода/вывода

Мощность переключения (switching power) в микросхемах, изготавливаемых по технологиям КМОП, пропорциональна CV^2F , где C – емкость переключающегося узла, V – перепад напряжения на узле, а F – частота переключений. Наибольший эффект для снижения расхода энергии может дать уменьшение перепада напряжения питания. Поэтому LPDDR2 и LPDDR3 SDRAM используют более низкое напряжение питания ввода/вывода (1,2 В) по сравнению с DDR3 SDRAM (1,5 В) или DDR3L SDRAM (1,35 В).



Энергопотребление различных типов памяти: а – в активном режиме; б – в режиме ожидания

Частичная саморегенерация массива данных

Данные в ячейках SDRAM хранятся в микроконденсаторах, которые нужно постоянно перезаряжать (регенерировать) для сохранения целостности информации. Саморегенерация – это режим, при котором SDRAM может самостоятельно обеспечивать целостность массивов данных – без вмешательства со стороны контроллера памяти. SDRAM, которая поддерживает PASR, позволяет системе определять, необходимо ли сохранять все данные, хранящиеся в памяти (т.е. регенерировать соответствующие ячейки), или только их часть. Так как на каждую регенерацию расходуется энергия, то исключение части SDRAM из этого процесса позволяет снизить энергопотребление. И LPDDR, и LPDDR2 поддерживают PASR.

Режим глубокого сна

Для снижения энергопотребления мобильные устройства могут также использовать режим глубокого сна. Разработчики задействуют его, когда не требуется сохранение содержимого памяти и когда система может использовать более длительное время для перехода в активный режим.

ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ СТАЦИОНАРНЫХ УСТРОЙСТВ

Вопросы уменьшения потребляемой энергии стоят наиболее остро в мобильных устройствах, но они актуальны и в стационарных изделиях, питающихся от сети: HD-телевизорах, цифровых приставках, компьютерах и др. Расход энергии в этих устройствах важен с двух точек зрения: стоимости и соответствия национальным

Зависимость энергопотребления от рабочей частоты

Рабочая частота, МГц	Снижение энергопотребления, %
1600	0
1066	33
800	50
400	75
200	88
100	94
50	97

и/или международным стандартам энергопотребления, установленным агентством Energy Star. Это агентство было учреждено Американским Управлением по охране окружающей среды, чтобы уменьшить электроэнергию, расходуемую потребительскими электронными устройствами.

Чтобы стать конкурентоспособными, потребительские товары должны быть доступны по минимально возможной цене. В устройствах, которые потребляют много энергии, часто нужно применять передовые технологии корпусирования для рассеивания выделяемой чипом теплоты, а также использовать охлаждающие элементы (теплоотводы или вентиляторы), что приводит к увеличению стоимости продукта. Однако LPDDR SDRAM не оптимальна для стационарных устройств – она дороже обычной DDR SDRAM и, как правило, недостаточно производительна. Поэтому в стационарных продуктах чаще используют обычную DDR SDRAM, такую как DDR3.

DDR3 SDRAM поддерживает меньше способов экономии энергии, чем LPDDR SDRAM, так как предназначена для устройств с более низкими требованиями к энергосбережению. Но режимы низкого энергопотребления в DDR3 SDRAM все же есть. Это, например, режимы активного энергосбережения (active power-down) и предварительного сна (precharge power down). В режиме предварительного сна внутрисхемная автоподстройка по задержке (delay-locked loop – DLL) отключается, и устройство будет потреблять меньше мощности по сравнению с режимом активного энергосбережения, где DLL функционирует.

УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ В ПОДСИСТЕМАХ DDR

Хотя рассмотренные приемы и помогают снизить энергию, потребляемую блоками DDR SDRAM, такая экономия обычно оказывается недостаточной. Дальнейшее улучшение показателей энергопотребления возможно только за счет использования знаний о принципах функционирования разрабатываемой системы, в частности, об особенностях алгоритмов доступа к памяти. Разработчики могут применять технологии управления питанием как в активном, так и в ждущем режимах работы, причем эти технологии можно задействовать и в мобильных, и в стационарных приложениях.

Управление питанием в активном режиме

Для определения способов оптимизации энергопотребления вернемся к формуле потребляемой мощности $P=CV^2F$. Емкость фиксируется на этапе физической реализации и не может быть далее изменена, поэтому основные параметры, регулирующие энергопотребление, – напряжение питания (квадратичная зависимость) и тактовая частота (линейная зависимость).

Основным потребителем энергии является интерфейс ввода/вывода, посредством которого команды и данные передаются из микросхемы и в нее в процессе операций записи и чтения, соответственно. Разработчики могут оптимизировать энергопотребление, используя DDR3L вместо DDR3, что позволяет снизить рабочее напряжение с 1,5 до 1,35 В и за счет этого значительно уменьшить потребляемую мощность.

Энергопотребление можно уменьшить также путем снижения рабочей тактовой частоты. Разработчики вынуждены повышать тактовые частоты систем в соответствии с запросами клиентов, так как требуются все более универсальные изделия, насыщенные разнообразными функциями. Однако не все эти функции используются постоянно, и не все они задействованы одновременно. Кроме того, некоторые функции не требуют максимальной пропускной способности памяти. Поэтому блоки DDR SDRAM могут быть оборудованы интеллектуальными контроллерами, управляющими рабочими частотами памяти в зависимости от требований к пропускной способности со стороны используемого приложения. Масштабирование рабочих частот в подсистемах DDR SDRAM позволяет добиться существенной экономии энергии (см. таблицу). Подход с масштабированием частот может быть применен как в DDR SDRAM, так и в LP SDRAM с пониженным энергопотреблением, но наибольшую выгоду он дает в LP SDRAM, так как у них нет встроеного DLL.

Управление питанием в режиме ожидания

Когда устройство находится во включенном состоянии, происходит непрерывное потребление электроэнергии. Даже если SoC не выполняет запись или чтение из SDRAM, энергия все равно потребляется, хотя и в меньшем объеме. Снижение энергопотребления в режиме ожидания требует использования специальных техник. Одна из них – снятие питающего напряжения

с ряда подсистем кристалла, включая SDRAM. В таких случаях SoC должна быть специальным образом спроектирована для управляемого и быстрого переключения питания. Кроме того, должно сохраняться текущее состояние системы, чтобы избежать потерь времени на процедуры начального запуска и инициализации.

ИНТЕГРАЦИЯ ПОДСИСТЕМ DDR

Описанные методы снижения энергопотребления можно реализовать, только если они поддерживаются одновременно DDR-контроллером и физическим интерфейсом DDR-памяти (DDR PHY). Например, при масштабировании частоты DDR-контроллер и PHY должны иметь возможность обмена информацией для управления рабочей частотой. А в случае снятия питания контроллер и PHY должны поддерживать совместную процедуру отключения, подразумевающую корректное завершение всех текущих транзакций на шине. Следовательно, при проектировании DDR-контроллера и PHY нужно не только обеспечить реализацию процедур энергосбережения в каждом из них, но и заложить возможность их совместной работы. Эти задачи лучше всего решаются, когда оба устройства выпускаются одним производителем.

Интеграция DDR-контроллера и PHY позволяет также организовать интеллектуальное управление питанием путем включения и отключения определенных функциональных узлов PHY в соответствующие моменты времени.

* * *

Таким образом, есть целый ряд подходов, позволяющих снизить энергопотребление подсистем DDR SDRAM. При этом полное решение для DDR SDRAM от одного производителя дает возможность использовать дополнительные приемы оптимизации энергопотребления. Важно, чтобы производитель имел большой опыт разработки подсистем DDR для различных приложений, а также предоставлял своим пользователям квалифицированную поддержку. Таким производителем является компания Synopsys, которая уже в течение многих лет является ведущим разработчиком и поставщиком ядер DDR SDRAM, удовлетворяющих требованиям современных мобильных и высокопроизводительных стационарных систем. Более подробную информацию о решениях компании Synopsys для различных реализаций подсистем DDR SDRAM можно получить по адресу: <http://www.synopsys.com/ddr>. ●