энергосбережение

АНАЛИЗ ПОТРЕБЛЕНИЯ МОЩНОСТИ В СХЕМАХ С ETHERNET

Майк Джонс (Mike Jones), FAE, Micrel Inc. Перевод И. Каршенбойма. E-mail: iosifk@eltech.spb.ru

Сокращение расхода электроэнергии в электронных устройствах становится все более и более важным параметром. Это стимулирует развитие, поскольку всемирное законодательство вынуждает производителей улучшать эффективность энергопотребления и в периоды активной работы, и в периоды ожидания. Расход электроэнергии продолжает увеличиваться, поскольку устройства становятся все быстродействующими и все более компактными.

Исследования показали, что в домах в периоды ожидания может тратиться до 25% мощности электроэнергии. Для ее сохранения Международное энергетическое агентство (IEA) предложило к 2010 году довести потребление мощности во всех устройствах, находящихся в периодах ожидания, до величины, составляющей не более 1 Вт. Эта решение получило название «Инициатива на один ватт».

Введение

Сейчас различные устройства, работающие по Ethernet, появляются не только в офисах и различных стационарных сетях, но и в новых областях, например таких, как мобильные устройства, работающие от аккумуляторов. Время работы от батареи в большой степени зависит от эффективности потребления мощности электроэнергии, как в режиме работы, так и в течение периодов ожидания, что, вероятно, является более критичным. Например, это характерно для автомобильных устройств.

Вычисление расхода электроэнергии для устройств, работающих по Ethernet, не столь очевидно, как это может показаться. Чтобы успешно выполнить проекты, имеющие малое потребление мощности по Ethernet, сначала нам будет важно понять, где она рассеивается. В любом устройстве с Ethernet главное рассеяние мощности происходит на приемопередатчике PHY. Обычно большинство проектов приемопередатчиков PHY представляет собой драйверы, работающие в непрерывном «нагруженном» режиме. Мощность рассеивается как внутри микросхемы PHY, так и снаружи в трансформаторе (рис. 1).

В даташитах микросхем, работающих по Ethernet, обычно публикуют только текущее потребление тока – Iphy. Для того чтобы вычислить полное потребление тока в схеме, необходимо учесть рассеяние мощности и в трансформаторе. Чтобы учесть ток в трансформаторе Itrans, разработчик должен обычно добавлять примерно 40 мА для 100Base-TX или 70 мА для PHY 10Base-T. Таким образом, мощность, рассеиваемая вне PHY, является довольно существенной и, как правило, составляет приблизительно 30-50% полного потребления тока схемы PHY.

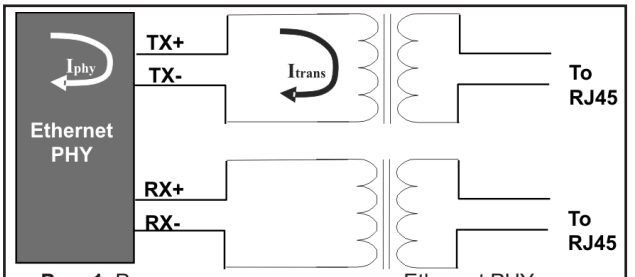

Рис. 1. Рассеяние мощности в цепи Ethernet PHY для режима Current-Mode

Новое поколение микросхем, выпускаемых фирмой Micrel, (KSZ8021/31/51) представляет собой семейство Fast Ethernet PHY-драйверов, в которых применена смешанная аналого-цифровая архитектура вместе с запатентованной улучшенной DSP-обработкой. Все это позволило получить самый низкий в отрасли расход электроэнергии. Устройство в целом имеет уровень расхода энергии подобно другим ведущим Ethernet PHY – менее 50 мА. Однако во внешнем трансформаторе не происходят потери энергии, так как драйвер работает в режиме драйвера напряжения, а не в режиме драйвера тока. Следовательно, с помощью данного решения удается сохранить 50% расхода электроэнергии по сравнению с полным расходом энергии схемы.

Проект расположения компонентов на PCB также упрощается, снижаются и другие аппаратные затраты благодаря уникальной минимизированной объединенной линейной терминации, предлагаемой в Ethernet PHY KSZ8021/31/51 (рис.2).

Расход электроэнергии во время рабочего режима

Определение термина «нормальное функционирование» с точки зрения использования ресурсов линии в процентном отношении будет весьма субъективно. Если мы проведем анализ сетевого трафика, то обнаружим долго длящиеся тихие периоды, которые чередуются с относительно кратковременными «вспышками» трафика. Такой режим работы может быть оценен как менее 3%-ное использование ресурса для линий, работающих по 10/100Base-TX, и еще более низкое использование ресурса для гигабитного Ethernet (рис. 3).

В течение тихих периодов можно ожидать, что расход энергии Ethernet будет снижен, но оказывается, что это происходит не всегда.

Период ожидания

Оба стандарта связи – и 1000Base-TX, и 100Base-TX – разрабатывались так, чтобы абоненты, подключенные к одной линии передачи непрерывно «синхронизирова-

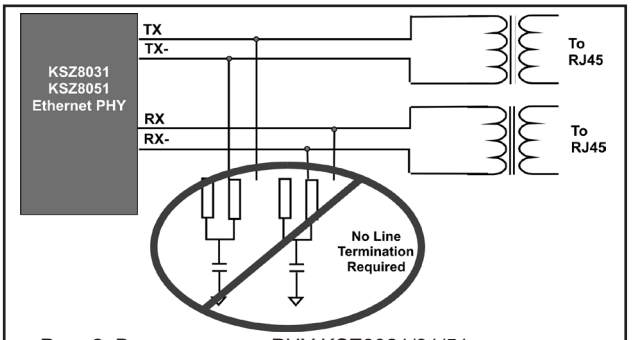

Рис. 2. В микросхемах PHY KSZ8021/31/51 отпадает необходимость применения дополнительных внешних компонентов, так как терминирование линии встроено

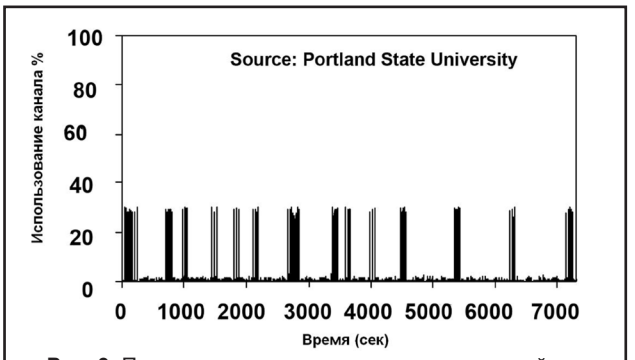

Рис. 3. Пример использования ресурса для линий

лись» друг с другом. Чтобы это согласование выполнялось в то время, когда никаких данных не передается, PHY автоматически отсылает в линию символы Idle (11111 или код – 5B) так, как показано на рис. 4.

Как следствие, в течение любого периода, когда нет данных для передачи по сети, передатчик PHY все еще работает так же, как и при передаче данных, и потому потребляет примерно такое же количество мощности.

Однако только для режима 10Base-T в течение периодов, когда нет данных для передачи по сети, есть некоторые отличия. В этом режиме, когда в сети нет трафика, передатчик PHY не передает символы Idle. Вместо этого это он отсылает одиночные импульсы в линию, приблизительно каждые 16 мс, как показано на рис.5.

Такие импульсы, посылаемые в линию, необходимы только для того, чтобы показать, что линия связи исправна и находится в рабочем состоянии. Расход энергии PHY непосредственно в периоды неактивного состояния линии при операциях 10Base-T не будет значительно снижаться, но ток, использованный во внешнем трансформаторе, уменьшится до незначительной величины.

Если по какой либо причине Ethernet PHY не будет активно использоваться, то настоятельно рекомендуется уменьшить потребляемую мощность путем переключения бита управления внутренней мощностью – Power Down (смотри регистр 0h бит 11 так, как это определено в IEEE802.3). При этом трансивер KSZ8031/51 понижает полное потребление тока схемы до значения <2 мА.

Длина кабеля и мощность выходного каскада в драйвере

Главным препятствием для энергосбережения в исходной спецификации IEEE 802.3 является то, что для выходного сигнала PHY жестко задана форма сигнала.

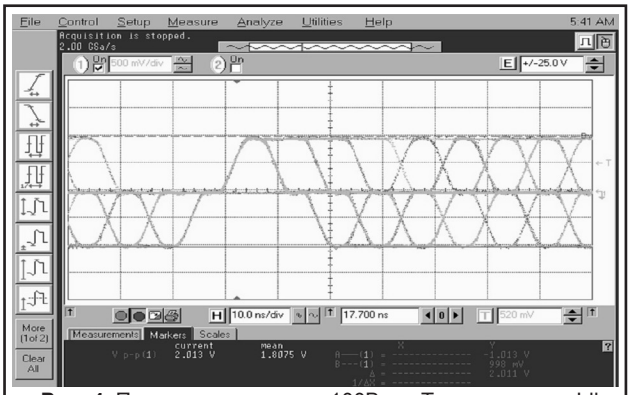

Рис. 4. Паттерн сигнала для 100Base-Tx в состоянии Idle

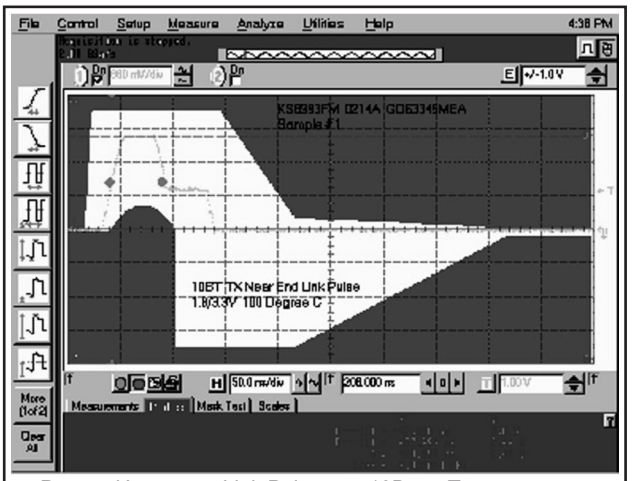

Рис. 5. Импульсы Link Pulse при 10Base-T

Для соответствия стандарту Ethernet выходной сигнал передатчика PHY не должен выходить за ограничения, заданные маской, показанной на рис.6.

Эта форма сигнала была разработана для PHY исходя из условия гарантированной работы на расстояние не менее 100 м на кабель класса CAT5. Как следствие, мощность для выходного каскада PHY задается для работы на такую длину кабеля, и выходной каскад тратит максимальную мощность, независимо от фактической длины подключенного к нему кабеля. В стандарте не было оговорено какое-либо дополнительное условие для того, чтобы адаптивно регулировать мощность для выходного каскада PHY в зависимости от длины кабеля.

Как мы знаем, есть много мест, где не требуется возможность работы на такой длинный кабель. Существует достаточно проектов, где линии связи гораздо короче 100 м. Например, в автомобильных бортовых сетях длина кабеля связи никогда не превышает 10-20 м. Таким образом, можно уменьшить мощность передатчика PHY. Так, для передатчика, работающего по 100Base-TX, можно уменьшить уровень сигнала на 50% от стандартной амплитуды сигнала в +/-1В и при этом производить передачу данных без ошибок. Выходной ток передатчика в микросхемах для Ethernet, производимых фирмой Micrel, можно регулировать. Его можно задавать программно при записи кодового слова в регистры управления или изменяя рекомендуемое сопротивление, которое подключается между входом REXT и землей (см. даташит для определения значе-

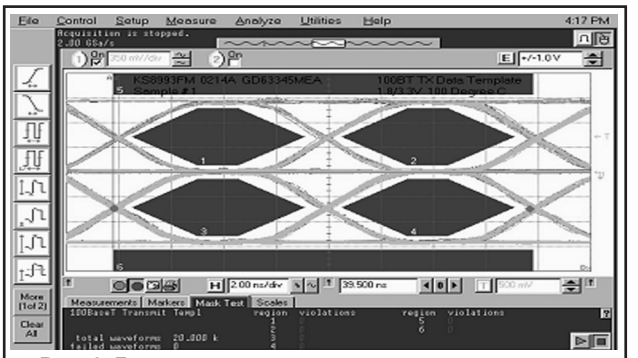

Рис. 6. Глазковая диаграмма сигнала для 100Base-Tx IEEE802.3

ния). Выходной ток передатчика изменится обратно пропорционально к подключенному сопротивлению. Этот метод приводит к наиболее существенным результатам, поскольку ток возбуждения передатчика составляет приблизительно половину полного потребляемого тока схемы для проектов с микросхемами KSZ8031/51, как это показано в таблице 1.

У всех микросхем KSZ8031/51 (кроме тех, что работают на оптоволокно) имеется улучшенная диагностика отказов в кабелях, использующая технологию Micrel LinkMD. Применение этой технологии позволяет измерить длину подключенного к микросхеме кабеля. Теперь выходной ток передатчика можно оптимально регулировать с учетом измеренной длины кабеля, и это приводит к улучшению эффективности расхода энергии.

Дополнительная выгода от уменьшения выходного тока передатчика PHY – сокращение излучения EMI – электромагнитных помех.

Напряжение питания

Другая важная для рассмотрения область – управление электропитанием миросхем для Ethernet. Именно это гарантирует максимальную эффективность энергопотребления. Многие современные устройства для работы используют одно напряжение питания, обычно это 3,3В, и в этих устройствах имеются встроенные линейные регуляторы напряжения для выработки напряжения питания ядра. Это предоставляет клиенту более простую реализацию схемотехники, но не позволяет добиться эффективного использования мощности. Поэтому если это возможно (к счастью, весьма часто), надо отключить внутренний регулятор и подать более низкое напряжение питания для ядра от внешнего стабилизатора (который зачастую может уже находиться на этой же плате). Чтобы продемонстрировать эту возможность, необходимо взять, например однопортовый Ethernet PHY – KSZ8051MNL компании Micrel.

Полное потребление энергии при использовании внутреннего регулятора будет равно 3,3Вх48 мА=158 мВт. Но если отключить внутренний регулятор и использовать при работе внешний источник питания 1,2В, то полное потребление энергии будет равно 3,3Вх36 мА+1,2Вх12 мА=133 мВт.

Семейство PHY – KSZ8051 – также предлагает гибкий диапазон напряжений ввода/вывода: между 1,71 и 3,465В, что позволяет в дальнейшем сократить расход энергии до 115 мВт. Улучшение эффективности потребления мощности на внушительную величину – 27% в дополнение к 132 мВт, сохраненным при использовании драйвера, работающего в режиме напряжения, приводит к тому, что ток, протекающий во внешних цепях, равен нулю. Кроме того, ток, выдаваемый буферами ввода/вывода микросхемы, может быть снижен от стандартного значения 8 до 4 мА, но, вероятно, более сильно это скажется на снижении эмиссии EMI, возникающей при работе интерфейса MII.

Таблица 1. Пример потребления тока со стандартным значением REXT для KSZ8051 в режиме 100BT

Питающее напряжение	Напряжение (В)	Ток (мА)
VDDIO	3,3/2,5/1,8	12
VDDA	3,3	24
VDDC	1,2	12
Итого		48 мА

Расход энергии во время состояния ожидания

При рассмотрении спецификации «Инициатива на один ватт» особый интерес представляет раздел, описывающий расход энергии во время состояния ожидания.

Семейство PHY Ethernet KSZ8031/51 имеет улучшенную технологию «Energy Detect Power Management» (дословно – управление электропитанием при обнаружении энергии). Такая технология обеспечивает более низкий расход энергии во время работы в состоянии ожидания. Есть четыре полностью конфигурируемых режима работы (таблица 2).

Режим нормального функционирования

Режимом по умолчанию является Normal Operation – нормальное функционирование. В этом режиме все внутренние блоки подключены к питанию и полностью работают.

Режим сохранения мощности

В Power Saving – режиме сохранения мощности – когда сетевой кабель отключается, выключается и приемная часть трансивера, оставляя в работе только схему обнаружения поступления на вход энергии. Передатчики, все синхрочастоты от PLL и MAC остаются в работе. Внутренние значения регистров не будут изменяться, и интерфейс готов к связи с хостом. Как только на линии наступит состояние активности, то линия стабилизируется и установится режим нормального функционирования.

Режим обнаружения энергии

Режим обнаружения энергии Energy Detect представляет собой улучшенную версию режима Power Saving – режима сохранения мощности, описанного выше. В этом режиме устройство экономит более чем 50% электроэнергии относительно нормального функционирования. Период от обнаружения ситуации, когда на входе микросхемы «нет энергии», и до ввода режима низкого потребления мощности также можно конфигурировать.

Таблица 2. Режимы сбережения мощности и управления электропитанием KSZ8031/51

Режим управления электропитанием	Статус внутренних функциональных блоков	Уменьшение потребления мощности
Power Saving Mode – режим сохранения мощности	Все блоки трансивера выключены, кроме передатчика, блока обнаружения энергии и PLL	30%
Energy Detect Power Down (EDPD) – режим обнаружения энергии	Все блоки трансивера выключены, кроме передатчика и блока обнаружения энергии	50%
Power Down – режим выключения мощности	Все внутренние блоки выключены, кроме интерфейса MII (Management interface) и цепей осциллятора –crystal/clock	93%
Slow Oscillator Mode – режим низкой частоты генератора	Все внутренние блоки выключены, кроме интерфейса MII (Management interface)	98%

Во время режима Energy Detect все внутренние блоки отключаются, за исключением схемы, обнаруживающей энергию. PHY также передаст непрерывную последовательность импульсов – 1 импульс в секунду, имеющих длительность 120 нс, а не типовое (энергетическое потребление), как в режиме холостого хода при посылке импульсов с комбинацией Idle.

Режим Power Down

В Power Down – режиме отключения мощности (регистр управления MII Management Register 0h бит 11) – все функциональные блоки отключаются, кроме интерфейса к хосту. Внутренние значения регистров во время этого режима не будут изменяться. Любая операция по доступу к микросхеме от хоста будет вызывать «пробуждение» микросхемы из режима Soft Power Down – программного выключения мощности к режиму нормального функционирования (Normal Operation).

Режим работы генератора с уменьшенной частотой

Режим работы генератора с уменьшенной частотой (Slow Oscillator) работает вместе с Power Down – режимом отключения мощности. Они переводят устройство в самое низкое состояние по потреблению мощности, что менее чем 2 мА. Этот режим отключает вход XI (вывод 9), связанный с кварцевым резонатором или опорным генератором, и к схеме подключается внутренний медленный генератор.

Режим Wake-on-LAN

О термине Wake-on-LAN (WoL) часто говорят, что это средство, позволяющее «пробудить» систему из режима ожидания во время нахождения этой системы в режиме низкого потреблении мощности. Однако действительность такова, что эта функция редко достигает своей цели.

Последовательность импульсов определенного типа направляется к устройству Ethernet и обнаруживается приемной частью микросхемы. Получив эти импульсы, PHY установит сигнал прерывания для хоста в активное состояние. Получив прерывание, хост должен включить питание для остальной части системы. Тем не менее режим WoL до сих пор не нашел широкого применения. Возможно, причина состоит в том, что описание этой процедуры не закреплено в стандарте. Нет также и совместимости по применяемым для WoL сигналам, поскольку все поставщики оборудования применяют различные последовательности сигналов. Так, например, фирма AMD для использования в качестве сигналов WoL применяет собственный стандарт Magic Packet («волшебный пакет»). Набор сигналов Magic Packet состоит из последовательности сигналов синхронизации, определяемых как 6 байтов кодов 0xFFh, за которыми следуют 16 повторений MAC-адреса устройства. Эта последовательность передается «внутри» стандартного пакета Ethernet, причем расположение байтов в стандартном пакете Ethernet может быть произвольным.

Второе ограничение на WoL, которое имеет место при минимизации мощности потребления для устройств, находящихся в режиме ожидания, состоит в том, что в «деле» участвует не только PHY, но и MAC. Устройство PHY является просто приемопередатчиком и «прозрачно» для принимаемых пакетов данных к их содержанию. С первого взгляда не всегда «заметно», что до того, как система «просыпается», и MAC, и PHY должны работать в нормальном рабочем режиме, а не в режиме низкой потребляемой мощности.

Итак, даже при отсутствии трафика, находясь в состоянии ожидания, в режиме 100 Base-TX PHY потребляет полную мощность. Кроме того, большинство встраиваемых приложений, таких, как IP STB и телефоны VoIP, уже имеют в составе своих процессоров встроенный Ethernet MAC, пренебрегая при этом поддержкой WoL. В таком случае процессор не поддерживается какими-либо внешними аппаратными средствами и должен обнаруживать пакеты WoL самостоятельно. Поэтому сегодняшние инициативы по сохранению мощности нельзя осуществить при использовании WoL.

Технологией WoL обычно обладают только такие устройства, как Ethernet-контроллеры с MAC/PHY, находящиеся в компьютерных картах NIC (в сетевых картах). Хотя, честно говоря, это было скорее «источником происхождения» данной технологии или, говоря другими словами, только намерением. Однако это может принести пользу другому сетевому устройству, поддерживающему WoL-технологию и сконфигурированному так, чтобы оно имело возможность «проснуться» и перейти из «сна» в рабочее состояние. Но давайте зададим себе вопрос: «А как часто это происходит у нас в доме?»

Энергосберегающий Ethernet по IEEE 802.3az

Неэффективность расхода энергии в схемах, работающих по интерфейсу Ethernet, уже была понята IEEE. Экспертная группа IEEE 802.3az, также известная как Energy Efficient Ethernet («Энергосберегающий Ethernet»), начала работать над тем, чтобы уменьшить расход энергии в течение периодов малого использования линии (время простоя). Как мы уже видели на рис.3, типичное использование трафика в линии Ethernet чрезвычайно низко. Чтобы достичь этой цели, необходимо произвести изменения в аппаратных средствах, однако они должны быть полностью совместимы с имеющимися аппаратными средствами.

Уменьшая расход энергии в течение периодов низкого использования линии, можно решительно улучшить эффективность потребления мощности. Этот метод, известный как Low Power Idle (LPI – режим низкой мощности в неактивном состоянии), позволяет отключить части приемопередатчика PHY, все еще занятые тем, что они поддерживают целостность работы линии, не нужной в режиме неактивного состояния. В этом случае только, когда PHY получит новые кадры из линии, оно пробудится и вернется к нормальному активному состоянию. Во время LPI периодические символы обновления отсылаются из PHY, что будет гарантировать синхронизацию с получателем. Пример энергосберегающей работы в Ethernet по IEEE 802.3az показан на рис.7:

Ts – Sleep Time. Перед тем как попасть в состояние Quiet (спокойное состояние), PHY посылает импульсы Sleep Symbols;

Tq – Quiet Duration. Время, в течение которого PHY находится в состоянии Quiet (спокойное состояние),

Таблица 3. Семейство микросхем KSZ8031/51

Название микросхемы	Режим работы линии	MAC	Корпус	Совпадение с KSZ8041 PHY по выводам
KSZ8031RNL	10Base-T/100Base-TX Internal Line Termination LinkMD Support	RMII	24-pin QFN (4x4 мм)	Нет
KSZ8051MNL		MII	32-pin QFN (5x5 мм)	KSZ8041NL
KSZ8051RNL		RMII		KSZ8041RNL
KSZ8051MLL		MII	48-pin LQFP (7x7 мм)	KSZ8041MLL
KSZ8051FLL	100Base-FX	MII	48-pin LQFP (7x7 мм)	KSZ8041FTL

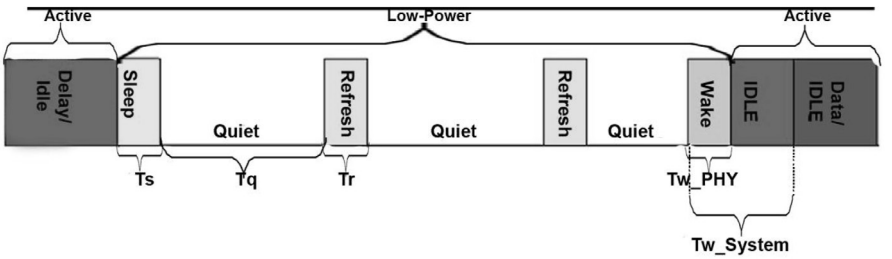

Рис. 7. Пример энергосберегающей работы в Ethernet по IEEE 802.3az

перед тем как PHY будет разбужено для периода Refresh;

Tr – Refresh Duration. Время, в течение которого PHY посылает Refresh-импульсы для восстановления временных параметров и коэффициентов;

Tw_PHY – PHY Wake Time. Время, в течение которого PHY приходит в активное состояние, если было принято решение о том, что надо «проснуться»;

Tw_System – System Wake Time. Период ожидания, во время которого данные не передаются. Он необходим для того, чтобы приемная часть микросхемы «проснулась».

Как показано на рис.7, когда кадр данных «прибывает» для передачи, но линия находится в режиме низкого потребления мощности, то необходимо ожидать ее «пробуждения», прежде чем может начаться передача. Это действительно создает дополнительное время ожидания (латентность) Tw_PHY в канале передачи данных. Время, предложенное для «пробуждения» линии, для 100Base-TX и 1000-BaseT составляет соответственно 30 и 16,5 мкс.

В настоящий момент временные параметры были рассмотрены только для PHY, работающих на скорости передачи в 100Base-TX (режим «полный дуплекс»), 1000Base-T и 10G. Спецификация, вероятно, будет вскоре завершена. Как ожидается, уже после этого устройства Ethernet, поддерживающие IEEE 802.3az, будут доступны на рынке.

Заключение

В статье показано, что, проведя подробный анализ, можно увидеть, что в схемах, работающих по интерфейсу Ethernet, расход энергии не является эффективным. Его часто довольно сложно вычислить. Устройство, работающее по Ethernet, расходует энергию одинаково, как во время трафика, так и во время неактивных периодов в линии, которые могут иметь длительность более чем 97% по времени. Это открытие определяет конкретные направления улучшения схем. Комитет IEEE оценил неэффективность данной ситуации и сформировал экспертную группу для уменьшения расхода энергии в течение периодов низкого использования линии – IEEE 802.3az. Она известна как Energy Efficient Ethernet (Энергосберегающий Ethernet). Эта группа должна выработать стандарт – энергосберегающий Ethernet, который направлен на уменьшение неактивной мощности в периоды неактивного состояния линии и предназначен для того, чтобы успешно работать там, где предыдущие попытки не привели к желаемому результату с технологией WoL.

Чтобы показать преимущества энергосбережения при реализации устройств для Ethernet, автор сообщил, что дополнительно сберечь мощность можно только при тщательном выборе устройства и понимании того, как и где она используется.

В статье показано, что новое семейство PHY для Ethernet KSZ8031/51, выпущенное фирмой Micrel, имеет самое низкое в отрасли потребление мощности при нормальном функционировании и множество усовершенствований, а также перестраиваемые режимы управления электропитанием для работы в состоянии ожидания. Такие «зеленые» решения для Ethernet сохраняют энергию и имеют более низкую эмиссию EMI.

Микросхемы семейства Fast Ethernet PHY KSZ8031/51 могут быть в корпусах MLF с 32 входами и в корпусе 48-LQFP. Они имеют совместимость выводов с текущим семейством KSZ8041, предлагаются в новых крошечных 24-QFN корпусах, имеющих размеры 4x4 мм, они применяются для проектов с интерфейсом RMII. Различные варианты микросхем и корпусов показаны в таблице 3.

Дополнительная информация – на сайте компании Micrel в разделе Ethernet [2].

Литература:

1. Исследование Ethernet Портлендского университета.
2. www.micrel.com/page.do?page=product-info/ether_over.jsp