

Аппаратные средства реализации беспроводных решений ZigBee/802.15.4

Михаил Соколов, Александр Гришин (Москва)

В статье рассмотрены преимущества технологии ZigBee в сравнении с беспроводными решениями субгигагерцового диапазона и Bluetooth. Приведены варианты аппаратной реализации беспроводных ZigBee-устройств и представлены семейства микроконтроллеров, отдельных радиоприёмопередатчиков и интегрированных однокорпусных решений для применения в беспроводных устройствах ZigBee/802.15.4. Повышенное внимание уделено особенностям использования периферии приёмопередатчиков и микроконтроллеров для задач оптимизации энергопотребления, минимизации себестоимости решения и создания шлюзов различных интерфейсов. Приведён обзор усилительных микросхем диапазона 2,4 ГГц для создания входных маломощных и выходных усилителей мощности.

ZIGBEE или BLUETOOTH? Конечно, ZigBee!

Беспроводная технология ZigBee уже достаточно широко известна на российском рынке, и всё большее число производителей ориентируются на её применение.

Решения ZigBee заняли ранее пустовавшую нишу радиоинтерфейсов (рис. 1), которую заполняли более дорогие устройства и технологии с более высокими техническими характеристиками либо решения, не имеющие под собой стандартизованной базы.

Наиболее близкой к ZigBee по своим возможностям и параметрам является технология Bluetooth. Тот же частотный диапазон, сравнимые скорости

передачи данных, схожий принцип построения беспроводного решения. Однако данные технологии не могут конкурировать друг с другом по ряду существенных причин. Во-первых, технология Bluetooth ориентирована на передачу не только данных, но и голосового и мультимедийного трафика. Во-вторых, Bluetooth обладает меньшей дальностью при прочих равных условиях, потребляет значительно больше электроэнергии и обладает крайне слабыми сетевыми возможностями (рис. 2). Технология ZigBee, напротив, предназначена для передачи небольших объёмов данных – порядка десятков или сотен байт за сеанс связи. При этом связь в ZigBee-систе-

мах осуществляется с прерываниями (эпизодически), за счёт чего обеспечивается длительная работа элементов питания и длительные периоды свободного эфира. Обладая многими функциями и режимами работы, присущими другим современным сетевым технологиям беспроводных ZigBee-систем, устройства могут объединяться в сети с различной топологией (от «точка-точка» до сложных сетевых структур), обеспечивая приемлемое время доставки сообщений, надёжность системы и устойчивость к разнообразным сбоям.

Технология ZigBee подразумевает использование как специализированной аппаратной части, так и ПО, реализованного по принципу стека протоколов (рис. 3). Два нижних уровня, физический уровень PHY и уровень доступа к среде MAC определяются стандартом IEEE 802.15.4. Все остальные верхние уровни определяются спецификацией стека, которую вырабатывает альянс ZigBee [1, 2].

С точки зрения аппаратной части, беспроводное решение состоит из двух составляющих – микроконтроллера (МК) и радиоприёмопередатчика (в дальнейшем – приёмопередатчика) стандарта IEEE 802.15.4. В структуре стека протоколов, представленной на рис. 3, нижний, физический уровень PHY и частично уровень MAC реализованы в приёмопередатчике аппаратно. Остальные уровни являются исключительно программной надстройкой, реализуемой в МК. Основное внимание в статье будет уделено аппаратной реализации беспроводного решения ZigBee на компонентах компании Freescale Semiconductor. Программные уровни стека протоколов ZigBee заслуживают отдельного внимания и выйдут за рамки данного материала.

Беспроводной стандарт IEEE 802.15.4, лежащий в основе технологии ZigBee, был окончательно принят в его нынешнем виде институтом IEEE в 2001 г. Спецификация стандарта на-

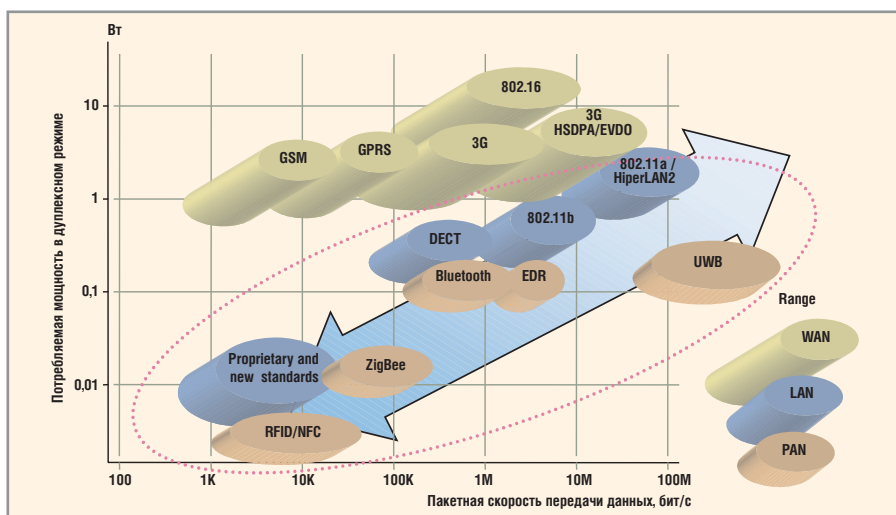


Рис. 1. Классификация беспроводных стандартов малого и среднего радиуса действия

ходится в открытом доступе на сайте этой организации. Она подразумевает использование трёх частотных диапазонов: 868, 915 и 2400 МГц (рис. 4). Подавляющее большинство поставщиков решений для технологии ZigBee выбрали в качестве базового диапазона именно 2,4 ГГц. На рис. 4 видно, что диапазон 2,4 ГГц предоставляет наибольшую скорость передачи данных и наибольшее число частотных каналов по сравнению с диапазонами 868 и 915 МГц. К тому же диапазон 2,4 ГГц является нелицензируемым во всём мире, в отличие от субгигагерцовых диапазонов стандарта IEEE 802.15.4.

В чём основные преимущества новой элементной базы по сравнению, например, с решениями диапазонов 315...915 МГц? Помимо более высоких скоростей передачи (250 Кбит/с), компоненты обладают широким набором энерго-сберегающих режимов и крайне низким энергопотреблением, что особенно актуально в автономных устройствах с большим сроком службы элементов питания. Кроме того, микросхемы стандарта, независимо от производителя, всегда совмещают в едином корпусе приёмную и передающую части. Это делается для организации двухсторонней полудуплексной беспроводной связи. Нет необходимости в передаче избыточного трафика для обеспечения надёжной связи, весь сеанс связи по передаче сотни байт данных укладывается в единицы, редко десятки миллисекунд (шифрование, переповторы и т.п.).

На принимающей стороне управляющий МК сообщит в приёмопередатчик команду на приём и перейдёт в режим ожидания либо продолжит выполнять основную программу. Практически всю обработку принимаемого пакета данных (обработка преамбулы, CRC (проверка целостности), проверка длины пакета, определение мощности принимаемого сигнала, запись

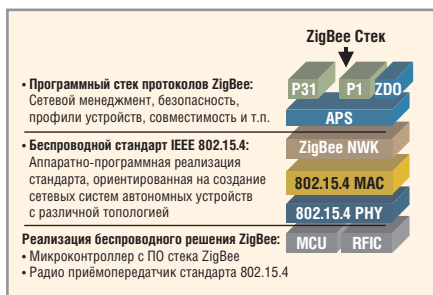


Рис. 3. Структура стека протоколов ZigBee на базе стандарта IEEE 802.15.4

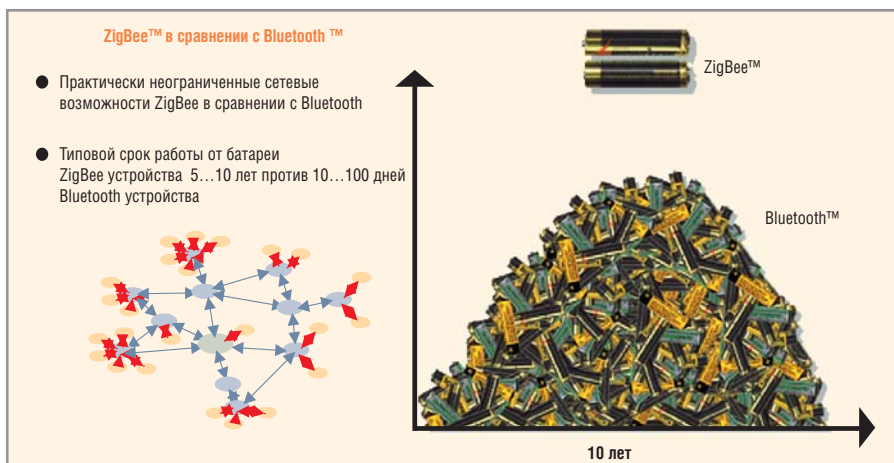


Рис. 2. ZigBee в сравнении с Bluetooth: похожие технологии – различные применения

данных в буфер приёма и формирования прерывания для МК) приёмопередатчик выполняет самостоятельно. Во время передачи данных МК необходимо также записать данные в передающий буфер микросхемы по последовательному интерфейсу (например, SPI), передать команду на отправку и ждать подтверждения операции. Всё остальное микросхема приёмопередатчика сделает самостоятельно: добавит преамбулу, CRC, сформирует пакет и выдаст его в эфир. Подтверждением может служить, например, сообщение от адресата об успешной доставке.

С точки зрения сетевых задач, стандарт 802.15.4 предоставляет гораздо больше возможностей по созданию беспроводных сетей практически любой сложности и любой топологии в сравнении с аппаратно-программными решениями диапазонов 315...915 МГц. Точнее сказать, он и создавался изначально под сетевые приложения, для которых важны надёжность передачи, малое потребление электроэнергии, простота организации сетей, возможность объединения в сеть от сотен до тысяч уст-

ройств, малое время задержки при передаче небольших объёмов данных. Благодаря скорости в 250 Кбит/с, передача пакета с подтверждением в среднем занимает 5...7 мс. Соответственно, время на ретрансляцию сообщения (с подтверждениями о приёме и передаче) составляет 10...15 мс. Конечно, чем сложнее протокол передачи, чем больше заложено различных возможностей по обработке данных (шифрование и т.п.), тем больше длительность сеанса связи. Однако это время в подавляющем большинстве задач не превышает нескольких десятков миллисекунд при передаче десятков или сотен байт данных. В результате за 1 с можно опросить порядка 100 беспроводных устройств.

Стандарт IEEE 802.15.4 определяет беспроводную передачу данных в двух режимах: пакетном и потоковом. При использовании пакетного режима задействуются внутренние буферы приёмопередатчика, отдельные на приём и передачу. Длина этих буферов составляет, как правило, 128 байт. Поточковый режим предполагает использование внутренних 2-байтных

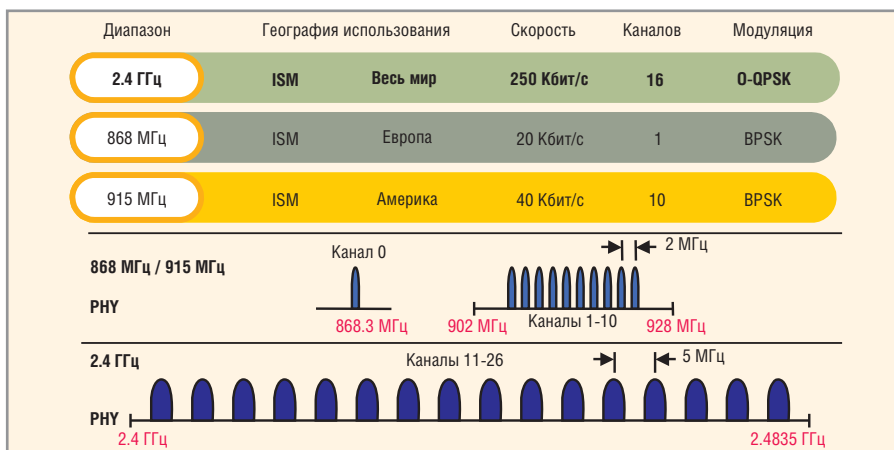


Рис. 4. Частотные диапазоны стандарта IEEE 802.15.4

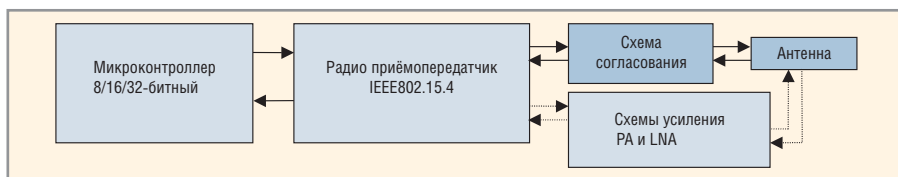


Рис. 5. Структурная схема ZigBee-устройства

буферов. В этом случае необходимо каждые 64 мкс загружать по 2 байта данных в передающий буфер либо вычитывать по 2 байта из приёмного буфера (в частотном диапазоне 2,4 ГГц при скорости передачи 250 Кбит/с). В данном режиме основную нагрузку по обработке и приёму данных несёт МК. Он позволяет варьировать длину передаваемого пакета и начинать обработку принимаемого пакета, не дожидаясь его окончания. Другими особенностями стандарта являются:

- функция шифрования передаваемых данных по алгоритму AES128,
- механизм множественного доступа в эфир с предотвращением коллизий,
- оценка уровня мощности сигнала в радиоэфире,
- возможность работы приёмопередатчика в диапазоне 2,4 ГГц на одном из 16 радиочастотных каналов,
- регулировка выходной мощности передатчика в широких пределах.

Детальное описание стандарта приведено на сайте [3].

ПОЛНОЕ РЕШЕНИЕ ZigBee/802.15.4 КОМПАНИИ FREESCALE SEMICONDUCTOR

Компания Freescale Semiconductor является одним из лидеров в области решений для беспроводной технологии ZigBee на российском рынке. Её отличает широкая гамма предлагаемых продуктов:

- различные линейки микросхем приёмопередатчиков и интегрированных решений для стандарта IEEE 802.15.4/ZigBee,
- наборы ПО (SMAC, MAC, ZigBee-стек),

- средства проектирования (ПО BeeKit, Reference designs, отладочные комплекты, демонстрационные платы),
- различные микросхемы, в т.ч. специализированные, для построения входных малошумящих усилителей (LNA) и выходных усилителей мощности (PA).

Типовая структура аппаратной части беспроводного решения ZigBee/802.15.4 включает в себя микроконтроллер, приёмопередатчик, схему согласования и приёмопередающую антенну (рис. 5).

Как отмечалось ранее, уровень PHY и частично уровень MAC реализуются аппаратно в приёмопередатчике. Микросхема приёмопередатчика осуществляет полное кодирование/декодирование сигналов в соответствии со стандартом IEEE 802.15.4. Для управления микросхемой и обмена данными используется последовательный интерфейс SPI. На сегодняшний день доступны два семейства приёмопередатчиков Freescale: MC1319x и MC1320x. Их характеристики и отличительные особенности подробно представлены в соответствующем разделе настоящей статьи.

В зависимости от задач и функций проектируемой системы, а также от требований по обеспечению совместимости с устройствами других производителей на уровне стека ZigBee, разработчик беспроводного решения может выбрать один из нескольких вариантов базового ПО: Simple MAC (SMAC), 802.15.4 MAC или BeeStack [1], в соответствии с чем выбирается МК. Принимается во внима-

ние производительность, наличие той или иной периферии, объём внутренней Flash- и RAM-памяти и т.п.

Для реализации беспроводных решений ZigBee/802.15.4 обычно применяют 8-разрядные МК семейства HCS08 [1]. В случае, если их ресурсов недостаточно, можно использовать 16-разрядные МК семейства HCS12 или 32-разрядные МК ColdFire. Под все перечисленные семейства МК существуют программные библиотеки SMAC, MAC и ZigBee. Ключевые параметры МК применительно к беспроводным устройствам приведены ниже.

Чтобы обеспечить надёжную беспроводную связь на достаточно больших расстояниях между устройствами в сети, необходима схема усиления аналоговых сигналов приёмопередатчика. Основными элементами схемы являются усилитель мощности в выходном радиотракте (PA) и малошумящий усилитель в входном радиотракте (LNA). Компания Freescale Semiconductor рекомендует линейку недорогих малошумящих входных усилителей с коэффициентом шума от 1 до 1,9 дБ и усилением от 10 до 15 дБ (табл. 1). Для задач усиления выходного радиосигнала предлагается линейка усилителей с максимальной выходной мощностью от 10 дБм (10 мВт) до 27 дБм (500 мВт) с усилением от 12 до 28 дБ (табл. 2).

8-РАЗЯДНЫЕ МК СЕМЕЙСТВА HCS08

Базовыми для беспроводных решений ZigBee/802.15.4 являются МК линейки HCS08Bxx/GTxx. Именно на этих МК выполнены все отладочные комплекты и Reference Designs по ZigBee. Чип MC9S08GTxx интегрирован в однокорпусное решение ZigBee – MC1321x. Модели этого семейства (MC13211, MC13212 и MC13213) включают в себя МК семейства HCS08 и приёмопередатчик 2,4 ГГц, размещённые внутри 64-выводного корпуса типа QFN. Такое решение на 47% снижает количество внешних компонентов по сравнению с предыдущими поколениями приборов. Отметим, что МК являются наиболее производительными из семейства HCS08 и это первое в мире ZigBee-совместимое решение в одном корпусе. Они специально спроектированы для беспроводных малопотребляющих решений, приложений с автоном-

Таблица 1. Перечень микросхем специализированных входных малошумящих усилителей диапазона 2,4 ГГц для радиоустройств ZigBee/802.15.4

Компонент	Коэффициент шума, дБ	Усиление, дБ	Питающее напряжение, В	Корпус
MBC13720NT1	1,5	12	2.3...3	SOT363
MBC13916NT1	1,9	10	2.7...5	SOT343
MC13820 / MC13821	1	15	2.7...3	QFN12
MC13770FC (со смесителем)	1,5	15	2.7...3	QFN12
MBC13900NT1*	1	14	2...7	SOT343

*Усилитель общего назначения.

ным питанием и длительным сроком работы от батарей. Высокая производительность МК обеспечивается благодаря частоте ядра (до 40 МГц) и частоте внутренней шины (до 20 МГц). Модели семейства отличаются конфигурацией памяти. Каждый прибор содержит встроенную Flash-память, 10-разрядный АЦП, LVD- и клавиатурные прерывания.

Пользователи вполне смогут оценить достоинства малых размеров микросхем и встроенного переключателя Tx/Rx, позволяющие снизить габариты платы и общее количество компонентов. Новое решение поддерживает простой MAC (SMAC) фирмы Freescale, MAC IEEE 802.15.4 и стек протокола ZigBee. Примеры применений на основе ZigBee-совместимых решений уже были продемонстрированы фирмой Freescale в мае 2005 г.

В семейство MC1320x входят три совместимых по выводам автономных радиочастотных приёмопередатчика диапазона 2,4 ГГц со встроенным на чип приёмопередатчиком, обеспечившим минимизацию площади платы. Использование MC1320x предоставляет определённую гибкость, позволяя использовать дифференциальную или несимметричную антенну. Для повышения рабочих характеристик достаточно просто интегрировать внешние усилители. Микросхемы семейства MC1320x совместимы с такими семействами процессоров фирмы Freescale, как HCS08, HC12, Coldfire и контроллеры цифровых сигналов.

Приборы семейств MC1320x и MC1321x поддерживают конфигурации сети «точка-точка» и простой «звезды», а также ZigBee-совместимые сети, используя беспроводный Z-стек. Модели семейства MC1321X совместимы по выводам, что расширяет возможности заказчиков при выборе приборов.

МК функционируют в широком диапазоне напряжений 1,8...3,6 В, поддерживают разнообразные режимы энергосбережения с крайне низкими токами потребления (до 20 нА), обладают тремя типами последовательных интерфейсов SPI, SCI и I²C, а также однопроводным BDM-интерфейсом для программирования и внутрисхемной отладки в реальном времени с тремя аппаратными независимыми точками останова. Широкий набор периферии включает Flash-память 16...60 Кб, способную работать в режиме эмуляции EEPROM во всём рабочем диапазоне

напряжений питания, 1...4 Кб RAM, 16/8-канальный 10-битный АЦП, 8/4-канальные 16-битные модули таймеров/ШИМ, модуль контроля уровня питающего напряжения, внутреннего тактирования, обработки внешних прерываний и т.д. Тактирование МК может осуществляться от встроенного или внешнего генератора (например, от генератора микросхемы радиомодема, что уменьшает стоимость решения за счёт использования в системе только одного кварцевого резонатора). МК MC9S08GB/GT доступны в корпусах 42SDIP, 44QFP, 48QFN и 64LQFP. Они включают до 56 портов ввода/вывода (до 36 для GT).

В случае, если функции МК HCS08GB/GT избыточны, компания Freescale Semiconductor предлагает МК с различной комбинацией периферийных модулей (включая аналоговый компаратор с внутренним источником опорного напряжения), оптимизированные по стоимости за счёт меньшего объёма внутренней Flash-памяти, набора периферийных модулей, корпусов с меньшим числом выводов. К ним относятся МК линеек HCS08AWxx, HCS08QGx/QDx, HCS08RC/RD/RE/RG. По основным техническим параметрам, таким как низкое энергопотребление, высокая производительность во всём диапазоне рабочих напряжений, МК семейства HCS08 идентичны.

С точки зрения программного обеспечения реализации беспроводных приложений, для МК семейства HCS08 доступны следующие программные библиотеки: SMAC, 802.15.4MAC и стек ZigBee – BeeStack (табл. 3). Основной средой разработки ПО для МК является Metrowerks CodeWarrior версий 3.1 либо 5.x и старше. При создании ПО для реализации беспроводного канала на базе перечисленных выше библиотек удобно использовать среду разработки BeeKit Wireless Connectivity Toolkit [4].

16-РАЗРЯДНЫЕ МК СЕМЕЙСТВА HCS12(X)

Следующим по производительности является семейство 16-разрядных МК HCS12(X). Для реализации беспроводных решений на базе данных МК доступно ПО SMAC (табл. 3).

Семейство HCS12(X) включает в себя множество различных линеек, которые могут быть использованы в приложениях ZigBee. В настоящей статье модели МК перечислять не будем, а выделит лишь наиболее значимые параметры: частота внутренней шины МК лежит в пределах 20...40 МГц, напряжение питания – 3,0...5,5 В. Объём внутренней Flash-памяти, в зависимости от модели, составляет 32...1000 Кб, RAM – 2...32 Кб, EEPROM – 1...4 Кб. Периферийные модули включают в себя 10-разрядные АЦП (до 24 каналов), 16-разрядные модули таймеров/ШИМ, мо-

Таблица 2. Перечень микросхем выходных усилителей мощности диапазона 2,4 ГГц для радиоустройств ZigBee/802.15.4

Компонент	Максимальная выходная мощность, дБм	Усиление, дБ	Напряжение питания, В	Корпус
Специализированные усилители				
MMG2401NR2	27	28	3...5	QFN 3x3
MBC13720NT1	15	12	2.3...3	SOT363
Усилители общего назначения				
MBC13900NT1	10	14	2...7	SOT343
MMG3001	18	20	5.6	SOT89
MMG3002	21	20	5.2	SOT89
MMG3003	24	20	6.2	SOT89
MMG3007	16	19	5	SOT89
MMG3008	15	18.5	5	SOT89
MMG3009	18	15	5	SOT89
MMG3010	17	15	5	SOT89
MMG3011	15	15	5	SOT89
MMG3012	18.5	19	5	SOT89
MMG3013	20.5	20	5	SOT89
MMG3014	24	20	5	SOT89
MMH3101	21.5	15	5	SOT89
MMH3107	18	14	4.5	SOT89

доль контроля уровня питающего напряжения, внутреннего тактирования. МК данного семейства обладают различным набором интерфейсов, включая SPI, SCI, I²C, USB, CAN, Ethernet, а также однопроводной BDM-интерфейс для программирования и внутрисхемной отладки в реальном времени с тремя независимыми точками останова. Микросхемы выпускаются в различных корпусах с числом выводов от 64 до 144, обеспечивая в рамках одного типа корпуса совместимость по выводам между моделями и МК различных семейств.

Отметим следующие модели МК семейства HCS12(X): MC9S12NE64, MC9S12UF32 и MC9S12XA/XD/XDT/XDP. Все эти модели МК идеально подходят для организации сетевых координаторов, ретрансляторов, а также шлюзов между радиointерфейсом IEEE 802.15.4 и другими проводными и беспроводными интерфейсами. МК MC9S12NE64 помимо стандартного набора последовательных интерфейсов имеет встроенный Ethernet-контроллер (драйвер физического уровня PHY и Ethernet 10/100 Мбит/с MAC-контроллер). Модель MC9S12UF32 включает в себя полноценный USB2.0-интерфейс, поддерживающий скорости до 480 Мбит/с. В МК HCS12(X) встроен интегрированный сопроцессор управления периферией и обработкой прерываний X-gate, позволяющий разгрузить центральный процессор для выполнения основной прикладной программы. За счёт этого производительность МК увеличивается в 3...5 раз. X-gate может целиком брать на себя функции управления, например, приёмом/передачей данных через какой-либо последовательный интерфейс, при этом таких интерфейсов в одном МК может быть до 16, включая SCI, SPI, I²C, CAN.

Стоит отметить, что ПО SMAC также доступно и для 16-разрядных цифровых сигнальных контроллеров DSP/DSC семейства DSP56F8xx и 56F8xxx (табл. 3).

32-РАЗРЯДНЫЕ МК СЕМЕЙСТВА COLDFIRE

Наиболее производительными МК, рекомендованными компанией Freescale Semiconductor для использования в ZigBee-системах, являются 32-разрядные МК семейства ColdFire. Производительность моделей MCF5474 и MCF5475 может достигать 410 MIPS и более. Диапазон напряжений питания составляет 1,5...3,3 В. Набор периферийных модулей включает в себя Flash-память 128...512 Кб, SRAM 8...96 Кб, 4...32 Кб Cache, 12/10-разрядный АЦП, 8/4/2-канальные 32/16-разрядные модули таймеров, модули шифрования и другие модули. МК могут иметь до 142 портов ввода/вывода и обладают широким набором внешних интерфейсов: SPI, SCI, I²C, CAN, USB, Ethernet. Для некоторых семейств МК Freescale Semiconductor предлагает следующие отладочные платы с ZigBee-модулями и приёмопередатчиком MC13192:

- M5282ZIGBEE – отладочный комплект для МК MCF5282;
- M5213EVV – отладочная плата для МК MCF5213;
- M5208EVV – отладочная плата для МК MCF5208;
- M52235EVV – отладочная плата для МК серии MCF5223 с возможностью подключения дочерних плат ZigBee 13192RFC (на базе MC13192) и 1320RFC (на базе MC1320).

Особый интерес представляют МК серии ColdFire V1. Частота внутренней шины МК может достигать 50 МГц. Особенность ColdFire V1 заключается в том, что они совместимы как с 8-разрядными, так и с 32-разрядными устройствами. Периферийные модули МК, такие как модуль тактирования (OSC), модуль АЦП, внешние интерфейсы I²C и SCI, могут работать в 8- и 32-разрядном режиме. При этом все МК ColdFire V1 совместимы по выводам с 8-разрядными МК семейства HCS08 с аналогичной периферией,

что делает их идеальным «мостом» между простыми и недорогими 8-разрядными и 32-разрядными высокопроизводительными устройствами.

Для МК семейства ColdFire будет доступен весь набор ПО: SMAC, 802.15.4 MAC, BeeStack (табл. 3).

32-РАЗРЯДНОЕ ИНТЕГРИРОВАННОЕ ОДНОКРИСТАЛЬНОЕ ZIGBEE-РЕШЕНИЕ НА БАЗЕ ЯДРА ARM

В ближайшее время компания Freescale планирует выпуск специализированного однокристального ZigBee/802.15.4-решения на базе ARM-ядра с интегрированным аппаратным MAC-ускорителем MC1322x. Выпуск серийных изделий намечен на I квартал 2007 г. По предварительной информации, новая микросхема будет лидером по энергопотреблению не только в энергосберегающих режимах, но и в режимах приёма и передачи. Встроенная периферия включает в себя 12-разрядный модуль АЦП, набор интерфейсных модулей UART/SCI, SSI/i2S, SPI, I²C, модуль аппаратного шифрования, модули таймеров/ШИМ и обработки внешних прерываний и др. Для работы микросхемы необходимо минимально возможное число внешних компонентов (антенна 50 Ом, кварцевый резонатор). Интегрированный приёмопередатчик микросхемы помимо полноценного режима работы согласно стандарту IEEE 802.15.4 будет иметь уникальный режим увеличения скорости обмена до нескольких мегабит в секунду.

ДВА ПОКОЛЕНИЯ ПРИЁМОПЕРЕДАТЧИКОВ: MC1319x И MC1320x

Первыми в линейке приёмопередатчиков компании Freescale Semiconductor появились микросхемы MC1319x. Микросхемы этого семейства, представленные в 2004 г., обладают широким набором энергосберегающих режимов и всей необходимой периферией для работы в составе автономных радиоустройств. Семейство MC1319x включает в себя три микросхемы приёмопередатчиков: MC13191, MC13192 и MC13193. Основные технические характеристики радиомодемов и их внутренняя структура представлены в табл. 4 и на рис. 6 (подробное описание см. [1]).

Таблица 3. Программное обеспечение и модели микросхем, используемые для беспроводных приложений по стандарту ZigBee/802.15.4

Программное обеспечение	MC1319x/20x + HCS08	MC1321x	MC1319x/20x + S12(X)	MC1319x/20x + DSC/DSP	MC1319x/20x + ColdFire	MC1322x
BeeStack	+	+	-	-	+	++
802.15.4 MAC	+	+	-	-	+	++
SMAC	+	+	+	+	+	++

* Начало выпуска – IV квартал 2006 г.

** Начало выпуска – I квартал 2007 г.

Остановимся более подробно на одной особенности этих приёмопередатчиков – встроенном 2- или 4-канальном таймере событий (Event Timer) в микросхемах MC13191 и MC13192/3 соответственно. Таймер состоит из делителя частоты и 24-разрядного счётчика, который инкрементируется с каждым импульсом системы тактирования приёмопередатчиков. Делитель обеспечивает частоту на входе счётчика в диапазоне 15,625...2000 кГц. Модуль таймера способен генерировать прерывания для МК в моменты равенства текущего времени таймера и значений в определённых регистрах радиомодема. Запись данных в регистры осуществляется через интерфейс SPI. Модуль таймера выполняет следующие функции: генерация системного времени, генерация прерываний при сравнении текущего времени со значением регистров сравнения, выход из энергосберегающего режима Normal Doze Mode по окончании заданной временной задержки, «защёлкивание» времени начала приёма данных в режиме пакетной передачи. Текущее значение таймера может быть считано по интерфейсу SPI. Модуль таймера работает при активированном модуле тактирования радиомодема.

В 2006 г. компания Freescale Semiconductor представила второе

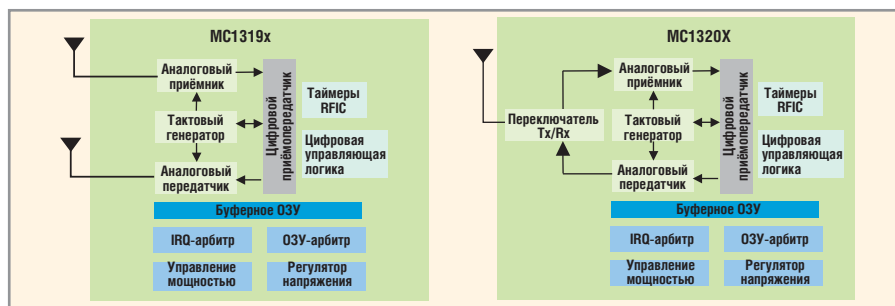


Рис. 6. Структурные схемы радиомодемов MC1319x и MC1320x

поколение приёмопередатчиков MC1320x. Структурная схема радиомодемов и основные технические характеристики также представлены на рис. 6 и в табл. 4. Основным отличием микросхем является наличие интегрированного Rx/Tx-переключателя, что позволяет в большинстве приложений сократить число внешних элементов и уменьшить себестоимость решения. Они способны работать как с внешним Rx/Tx-переключателем, когда используются LNA- и PA-усилители, так и с внутренним переключателем, что предоставляет разработчикам гибкость решения при проектировании беспроводных устройств. Кроме того, у радиомодемов семейства MC1320x расширен диапазон регулировки выходной мощности (табл. 4). Микросхемы MC1320x совместимы по выводам с MC1319x, и по остальным параметрам радиомодемы между собой схожи.

Внутренний Rx/Tx-переключатель позволяет использовать радиомодем в однопортовом (Single Port Mode) режиме, в котором выходы микросхемы RFIN_P и RFIN_M работают как на приём, так и на передачу (рис. 7). Во время приёма и передачи на выводе ST_Bias формируется опорное напряжение, равное нулю при приёме и уровню встроенного регулятора напряжения VDDA при передаче. Этот сигнал может быть использован для формирования опорного напряжения смещения на согласующем трансформаторе. Последний конвертирует 50-омный сигнал от антенны в двунатправленный балансный интерфейс радиомодема.

Внешний Rx/Tx-переключатель позволяет использовать радиомодем в двухпортовом (Dual Port Mode) режиме благодаря выводам микросхемы PAO_P и PAO_N. При этом использу-

Таблица 4. Сравнение характеристик микросхем приёмопередатчиков семейств MC1319x и MC1320x

Параметр	MC13191	MC13192/3	MC13201	MC13202/3
Способ передачи	Пакетная	Пакетная, потоковая	Пакетная	Пакетная, потоковая
Соответствие стандарту IEEE 802.15.4	Частичное	Полное	Частичное	Полное
Поддержка сетевых топологий	«Точка-точка», «звезда»	«Точка-точка», «звезда», кластерное дерево, многоячейковая сеть, ZigBee	«Точка-точка», «звезда»	«Точка-точка», «звезда», кластерное дерево, многоячейковая сеть, ZigBee
Программное обеспечение	SMAC	SMAC, 802.15.4MAC, BeeStack	SMAC	SMAC, 802.15.4MAC, BeeStack
Рабочий частотный диапазон, ГГц	2,405...2,480			
Скорость передачи, Кбит/с	250			
Модуляция	O-QPSK			
Число каналов, шаг	16 каналов с шагом 5 МГц			
Выходная мощность радиопередатчика, настраиваемая программно, дБм	-16...+4		-28,7...+4	
Чувствительность в диапазоне -40...+85°C, дБм (1% PER)	-91	-92	-91	-92
Наличие встроенного Rx- или Tx-переключателя	Нет		Да	
Возможность подключения внешних усилителей PA и LNA	Да			
Настраиваемая частота тактирования внешнего МК, кГц	16,393...16 000			
Интерфейс с МК	4-проводной SPI			
Встроенные таймеры	2/4 канала 24-битного таймера событий			
Энергосберегающие режимы	Off (0.2мкА), Hibernate (2.3 мкА), Doze (35 мкА), Idle (500 мкА)		Off (0.2мкА), Hibernate (1 мкА), Doze (35 мкА), Idle (500 мкА)	
Напряжение питания, В	2.0...3.4			
Диапазон рабочих температур, °C	-40°C...+85			
Корпус	5 × 5 мм QFN32, PB-free, совместимость по выводам			

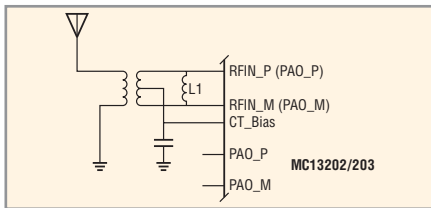


Рис. 7. Однопортовый режим работы радиоприёмопередатчиков MC1320x

ются два балансных интерфейса, отдельно на приём и отдельно на передачу, где линии RFIN_P и RFIN_N работают только на вход (рис. 8). Сигнал CT_Bias может использоваться внешним МК для диагностирования режима, в котором находится радиомодем, либо для управления внешним Rx/Tx-переключателем, который коммутирует входной и выходной радиотракты. В этом режиме к радиомодему можно подключать дополнительные внешние усилители LNA и PA.

ИНТЕГРИРОВАННОЕ ОДНОКОРПУСНОЕ РЕШЕНИЕ MC1321x

Однокорпусное решение было представлено в 2006 г. Микросхемы семейства MC1321x сочетают в одном корпусе размером 9 × 9 мм два чипа: чип МК семейства HCS08GTxx и чип радиомодема второго поколения MC13202. Структура интегрированного реше-

ния показана на рис. 9. Семейство микросхем, как отмечалось выше, включает в себя три модели – MC13211, MC13212 и MC13213/4, и различаются они только объёмом внутренней Flash-и RAM-памяти МК. Остальные технические характеристики микросхем семейства MC1321x идентичны упомянутому радиомодему и МК. Отличия заключаются в меньшем числе портов ввода/вывода МК и наличии внутренних связей чипов, продублированных дополнительными выводами корпуса. Внешний вид микросхемы и радиомодему на её базе показаны на рис. 10.

Основными достоинствами интегрированного решения являются сокращение стоимости компонентов и занимаемой радиотрактом площади. При переходе от двухкорпусного решения к однокорпусному площадь платы радиотракта без учёта антенны сокращается с 300 до 200 мм², на 40% сокращается число внешних компонентов, а стоимость элементной базы уменьшается более чем на 30%.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ РЕЖИМОВ ПРИЁМОПЕРЕДАТЧИКОВ MC1321x/20x/19x

Благодаря использованию набора энергосберегающих режимов ток по-

требления микросхемы радиомодема в состоянии покоя может составлять менее 0,2 мкА (табл. 3). Основным режимом работы радиомодема является режим ожидания Idle. Переход микросхемы в другие режимы работы возможен только из режима Idle. Используются следующие энергосберегающие режимы: Off, Hibernate и Doze.

В энергосберегающем режиме Off радиомодем потребляет минимальное количество электроэнергии. Выход из режима осуществляется только при аппаратном сбросе микросхемы радиомодема через вывод RST либо отключением и последующим включением питающего напряжения. В режиме Off все функции радиомодема отключены, цифровые выходы (включая IRQ) находятся в высокоимпедансном состоянии. Все данные, находившиеся в памяти приёмопередатчика до входа в режим Off, теряются.

В энергосберегающем режиме Hibernate все внутренние модули радиомодема, как и в режиме Off, отключаются (в т.ч. SPI-интерфейс и таймеры). Но, в отличие от режима Off, в режиме Hibernate все настройки и данные в радиомодеме сохраняются. Важным моментом является то, что, начиная с момента входа радиомодема в режим Hibernate, на выводе CLKO микросхемы сохраняется частота тактирования МК в течение 128 циклов. Это позволяет МК (МК использует частоту CLKO) также перейти в энергосберегающий режим до момента потери тактовой частоты. При выходе радиомодема из режима Hibernate сигнал на выводе CLKO восстановится с прежним значением частоты.

Энергосберегающий режим Doze может использоваться в двух вариантах: Normal Doze Mode и Acoma Doze Mode. В режиме Normal Doze Mode все

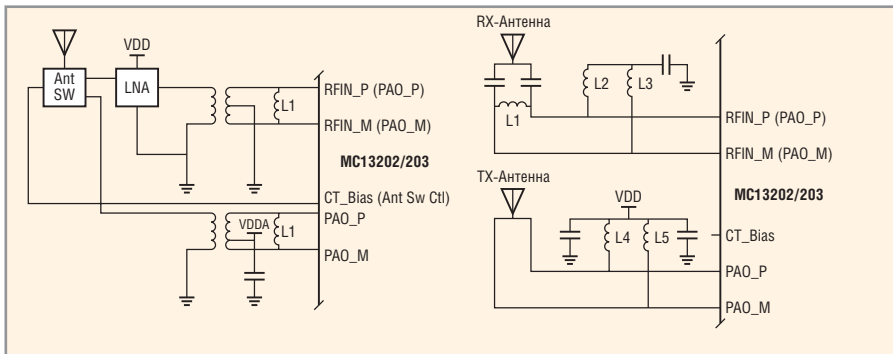


Рис. 8. Двухпортовые режимы работы радиоприёмопередатчиков MC1320x

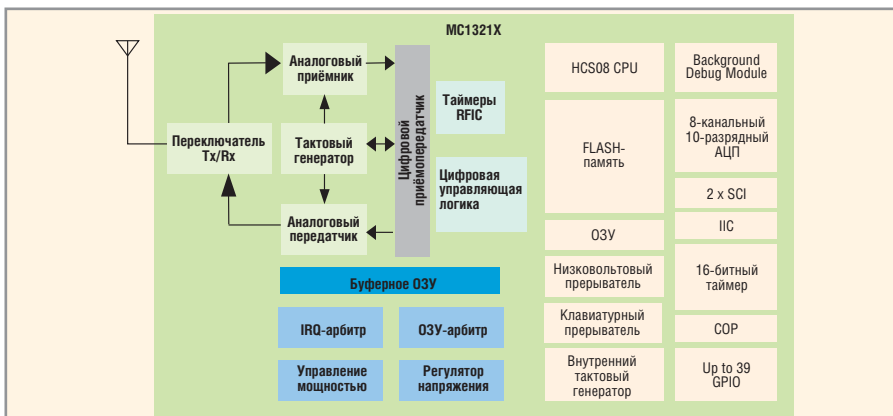


Рис. 9. Структурная схема микросхемы MC1321x

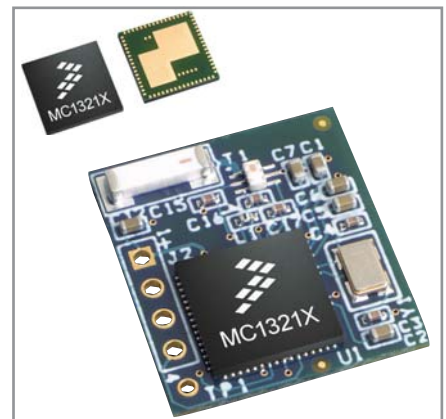


Рис. 10. Внешний вид микросхемы MC1321x и радиомодуля на её базе

модули радиомодема отключены (в т.ч. SPI-интерфейс), кроме модуля тактирования и модуля таймера (Event Timer). В этом режиме также может быть активен сигнал на выводе CLKO, но выходная частота не может превышать 1 МГц. Особенностью данного режима является то, что радиомодем выходит из него по истечении некоторого времени, которое отсчитывает таймер Event Timer. Если сигнал на выводе CLKO был активен до входа в режим Doze и был отключён при входе в данный режим, то при выходе обратно в режим Idle сигнал CLKO восстановится с прежним значением частоты, за исключением двух низших частот. Частоты 16,393 и 32,786 кГц не восстанавливаются на выводе CLKO при выходе из режима Doze. Радиомодем может быть выведен из режима Doze до окончания временного тайм-аута, отсчитываемого таймером, также как и из режима Hibernate. В таком случае отсчёт таймера необходимо запретить после входа в режим Idle. Вторым вариантом режима Doze является Asoma Doze Mode. Отличием данного режима от предыдущего является то, что таймер Event Timer не

работает, а частота на выводе CLKO остаётся активной.

Радиосуилители LNA и PA диапазона 2,4 ГГц

Сравнивая дальность передачи в условиях прямой видимости без дополнительных усилителей с устройствами, использующими усилители LNA/PA, можно говорить о расстояниях порядка 200...300 м (без дополнительных усилителей) и нескольких километров (с дополнительными усилителями) соответственно. Естественно, такие показатели достигаются благодаря квалифицированной и качественной проработке антенной системы, схем и топологии радиотракта. Если не прибегать к услугам опытных инженеров, вполне реально обеспечить дальность порядка 100...200 м без усилителей и до километра с усилителями. Не стоит забывать также и о влиянии на дальность передачи используемого протокола, длины передаваемых пакетов и типа применяемой антенны.

Для создания эффективных высокочувствительных схем радиомодемов, работающих на большие расстояния,

компания Freescale Semiconductor предлагает усилители общего назначения и ряд специализированных усилителей (табл. 1 и 2). При использовании широкополосных усилителей мощностью более 10 мВт рекомендуется использовать дополнительные внешние фильтры, блокирующие все радиочастотные сигналы, за исключением полосы 2,4...2,5 ГГц. Подобные фильтры выпускают множество компаний. Большинство фильтров доступны на российском рынке. Перечисленные в табл. 1 и 2 усилители отличаются малой стоимостью и стабильностью характеристик. Кроме того, для некоторых из них доступны Reference Designs, что поможет облегчить задачу проектирования усилительных каскадов радиотракта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соколов М. Программно-аппаратное обеспечение беспроводных сетей на основе технологии ZigBee/802.15.4. Электронные компоненты. 2004. № 11.
2. www.zigbee.org.
3. www.grouper.ieee.org/groups/802/15/pub/TG4.html.
4. www.freescale.com/zigbee.



Коммерческие источники питания для военной техники – зачем платить больше?

Низкая стоимость и короткие сроки поставки при соответствии военным стандартам

Основные характеристики DC/DC-преобразователей серии MTC:

- Диапазон входных напряжений 10...50 В
- Выходные напряжения от 3,3 до 28 В
- Выходные мощности от 5 до 35 Вт
- Диапазон рабочих температур от -55 до +100°C (основание корпуса)
- Электромагнитные помехи соответствуют требованиям MIL-STD 461E
- Импульсное перенапряжение и помехоустойчивость в соответствии с MIL-STD 1275A/B/C, 704A-F
- Стойкость к внешним воздействующим факторам в соответствии с требованиями MIL-STD 810F
- Сервисные функции: синхронизация частоты преобразования, дистанционное включение/выключение, регулировка выходного напряжения, внешняя обратная связь



THE X P E R T S I N P O W E R

Более подробная информация на сайте: www.xp-military.com

PROSOFT®

Телефон: (495) 234-0636 • Факс: (495) 234-0640 • E-mail: info@prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru