

# БЕСПРОВОДНЫЙ ИНТЕРФЕЙС BLUETOOTH: РЕШЕНИЯ INFINEON И NATIONAL SEMICONDUCTOR

Беспроводные интерфейсы всё более востребованы в современном мире. В 90-х годах 20 века широкое распространение получил интерфейс IrDA с открытой оптической средой. Однако гораздо большими возможностями обладают беспроводные системы передачи данных в радиодиапазоне. Одним из первых стандартов в области беспроводных сетей с малым радиусом действия (персональных сетей передачи данных) стал Bluetooth, разработанный консорциумом фирм-производителей мобильных электронных устройств [1]. Стандарт получил достаточно широкое распространение, он поддержан IEEE под названием IEEE.802.15.1 [2]. Успех Bluetooth обусловлен широкомасштабной поддержкой производителей элементной базы, среди которых ведущие позиции занимают компании Infineon и National Semiconductor.

## ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ BLUETOOTH

Bluetooth явился первым массовым стандартом на персональные сети передачи данных. Кратко напомним его принципы [3]. Архитектура сетей Bluetooth может быть как "точка-точка", так и "точка-многоточка". Каждому изделию с Bluetooth при изготовлении присваивается уникальный 48-разрядный адрес. Базовая единица системы Bluetooth – пикосеть. В каждую пикосеть входит одно устройство-контроллер (К) пикосети и до 255 оконечных устройств (ОУ). Одновременно могут быть активны только контроллер и 7 ОУ. Остальные находятся в состоянии парковки до команды активизации от контроллера. Пикосети могут взаимодействовать между собой, так как контроллер одной из них может являться одновременно оконечным устройством другой (рис. 1).

Радиообмен в Bluetooth происходит на частотах 2,4–2,4835 ГГц. Данный диапазон практически во всех странах является нелицензируемым. Во Франции и Испании он частично занят под военные нужды. Весь этот диапазон разделён на 79 каналов. В каждый момент времени обмен происходит только по одному из них. После передачи одно-

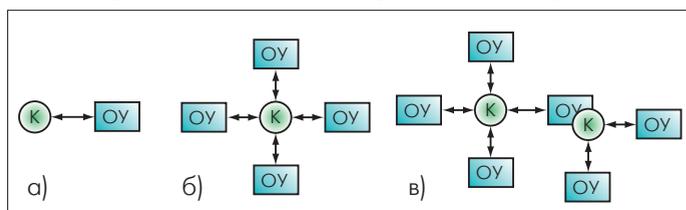


Рис. 1. Конфигурации пикосетей Bluetooth: а) точка-точка; б) точка-многоточка; в) связанные пикосети



А.Иванов  
lapin@zoi shar.ru

го пакета данных обмен переходит на другой канал с частотой переходов до 1600 Гц – принцип расширения спектра посредством частотных скачков (FHSS), еще его называют псевдослучайной перестройкой рабочей частоты (ППРЧ). Последовательность смены каналов задается псевдослучайной последовательностью (ПСП), единой для пикосети. ПСП генерируется на основе адреса контроллера, поэтому для каждой пикосети последовательность переключения между каналами разная. Для внешних по отношению к пикосети устройств сигнал становится шумоподобным и лишь незначительно ухудшает условия их работы. Помехи от внешних устройств также не сильно влияют на работу пикосети, так как в случае ошибки обмена данными повторная передача происходит по другому каналу.

В пикосети все действия инициирует только контроллер. Дуплексный обмен происходит на основе временного разделения – сначала в течение интервала перестройки частот длительностью 625 мкс (тайм-слота) информацию передает контроллер, в течение следующего слота – ОУ, затем снова контроллер и т.д. Сообщение одного устройства может занимать до пяти тайм-слотов, следующих подряд. Передавать может только то ОУ, к которому в предыдущем тайм-слоте обратился контроллер.

Сеть Bluetooth поддерживает синхронный и асинхронный режимы обмена данными. Синхронный режим возможен только в случае радиального соединения контроллера с оконечным устройством. Контроль передачи при этом не ведётся. Производительность интерфейса в синхронном режиме позволяет организовать до трех каналов передачи голосовой информации со скоростью по 64 кбит/с в каждом направлении.

Асинхронный режим позволяет достичь высокой надёжности обмена данными. Передача каждого пакета данных квитируется. В случае ошибки приёма передача сбойного пакета повторяется. Скорость передачи в асинхронном режиме – до 723,2 / 57,6 Кбит/с в прямом/обратном каналах в асимметричной моде и до 433,9 Кбит/с в каждом направлении при симметричном обмене.

Стандартный пакет Bluetooth содержит код доступа пикосети (72/68 бит), заголовок (18 бит, после кодирования превращаются в 54 бита) и поле информации (не более 2745 бит). Заголовок и/или поле данных могут отсутствовать. Код доступа идентифицирует пакеты данной пикосети. Заголовок содержит информацию об адресе оконечного устройства, типе данных, готовности оконечного устройства, флаги подтверждения правильного приема, последовательности пакетов, а также контрольную сумму.

Все вышесказанное относится к базовой спецификации Bluetooth 1.1, принятой в конце февраля 2001 года. Однако уже 5 ноября 2003 года появилась версия Bluetooth 1.2 [4]. Она содержала ряд изменений и дополнений, основные среди них – это:

- ускоренное установление соединения;

- адаптивная схема переключения каналов (можно задавать меньше, чем 79, но не менее 20 каналов, между которыми происходит переключение при FHSS);
- расширенные синхронные соединения (появляется режим расширения синхронных соединений eSCO, в котором за выделенным окном для синхронного соединения следует дополнительное окно для повторной передачи);
- усовершенствованные алгоритмы обнаружения ошибок, контроля потоков и улучшенные схемы синхронизации.

Через год появилась последняя версия Bluetooth 2.0 + EDR [4]. Как и следует из названия, она состоит из двух частей, которые могут поддерживаться аппаратурой независимо – это собственно обновленная версия спецификации 2.0 (не содержит принципиальных отличий от 1.2) и расширенный набор скоростей передачи данных EDR (Enhanced Data Rate).

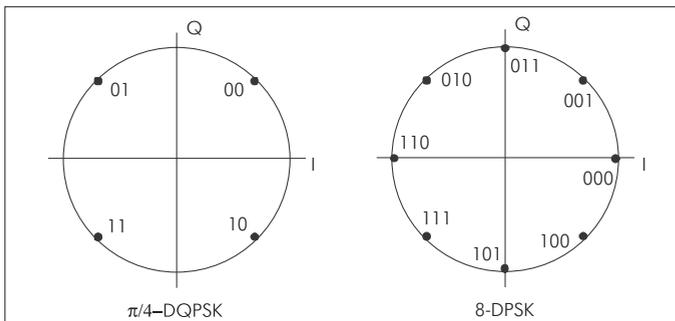


Рис.2. Модуляционные символы в режиме EDR

Расширенный набор скоростей означает, что, помимо базовой скорости 1 Мбит/с, возможен обмен со скоростями 2 и 3 Мбит/с. Увеличение скорости передачи происходит за счет изменения методов модуляции. В базовой версии используется частотная модуляция с фильтром Гаусса (GFSK), в которой на один модуляционный символ приходится один бит. Скорость модуляции при этом равна скорости потока данных и составляет 1 Мбит/с. В режиме EDR применяется дифференциальная фазовая модуляция – 4- и 8-позиционные  $\pi/4$ -DQPSK и 8-DPSK (рис.2), в которых один модуляционный символ представляет соответственно два и три бита (модуляция называется дифференциальной, поскольку изменение фазы происходит относительно предыдущего символа). В результате при той же скорости модуляции 1 Мбит/с скорость передачи данных составляет 2 и 3 Мбит/с. Режим EDR возможен не только при асинхронном соединении, но и в расширенном синхронном (eSCO).

Быстрое развитие технологии Bluetooth связано с развитием элементной базы цифровой обработки сигналов. Массовое внедрение Bluetooth-устройств естественным образом привело к лавинообраз-

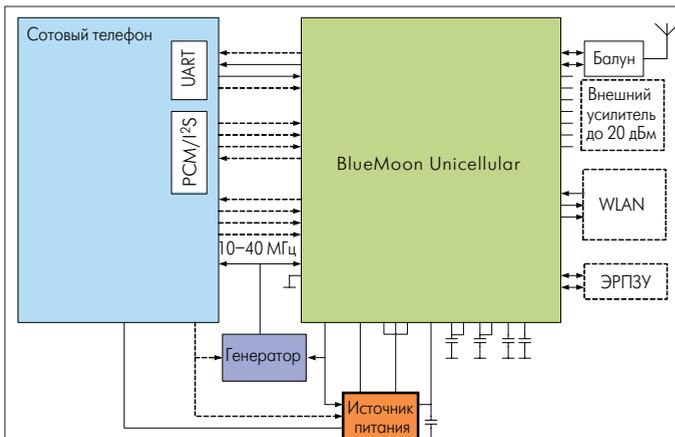


Рис.3. Схема включения ИС PMB8753 компании Infineon

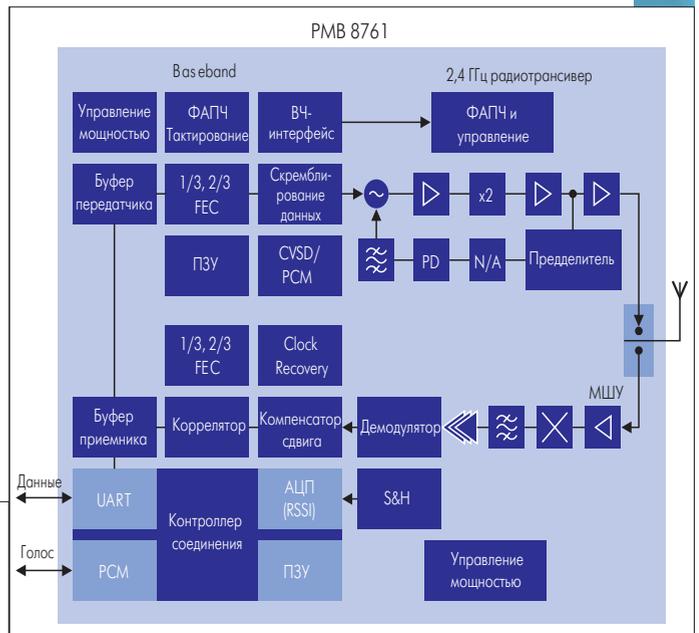


Рис. 4. Структурная схема микросхемы PMB8761

ному падению цен на комплектующие для них. Всё это делает применение интерфейса Bluetooth эффективным и привлекательным для применения в разнообразных системах передачи данных [5].

Среди ведущих мировых производителей элементной базы для сетей Bluetooth заметную роль играют фирмы Infineon и National Semiconductor. Рассмотрим подробнее их продукцию.

Таблица 1. Продукция фирмы Infineon для Bluetooth

Изделие	Фирменное название	Описание	Конструктив
PMB8761	BlueMoon Single Cellular	Элементарный порт Bluetooth 1.2, оптимизированный для звуковых приложений	Микросхема в корпусе P-VQFN-48
PMB8753	BlueMoon Universal Cellular	Порт Bluetooth 2.0 + EDR с возможностью загрузки программ пользователя для выполнения их на встроенном контроллере	Микросхема в корпусе WFLGA-56
PBA31307	Single Stone	Законченный модуль на базе PMB8761	Модуль 12 x 11 мм с 72 выводами, SMD

### ПРОДУКТЫ BLUETOOTH КОМПАНИИ INFINEON

Компания Infineon производит продукты Bluetooth как в виде интегральных схем (ИС), так и объединяющих их законченных модулей (табл.1) [6]. Для работы портов Bluetooth в виде ИС нужны только внешние источник питания, генератор тактовой частоты, интерфейсные устройства передачи данных, антенна и несколько конденсаторов (рис.3). Диапазон рабочих температур этой продукции –40...85°С.

Трансивер PMB8761 разрабатывался для применения в сотовых телефонах (например, для связи с беспроводной гарнитурой). Он включает асинхронный универсальный порт UART (для обмена данными с host-устройством), порт PCM (ИКМ) для синхронных аудиоданных (оцифрованных, в формате ИКМ), трансивер Bluetooth, подсистемы синхронизации, управления и питания (рис.4).

На базе этой микросхемы Infineon выпускает готовый к применению модуль PBA31307. Благодаря встроенной схеме электропитания и кварцевому тактовому генератору на 26 МГц он нуждается только во внешнем нестабилизированном источнике напряжения и тактовом генераторе 32,768 кГц (рис.5).

Старшая модель семейства BlueMoon – ИС PMB8753 (рис.6) – в фирменной документации называется универсальной платформой Bluetooth. Её универсальность проявляется в том, что ИС оснащена встроенным универсальным процессором с ядром ARM7, который

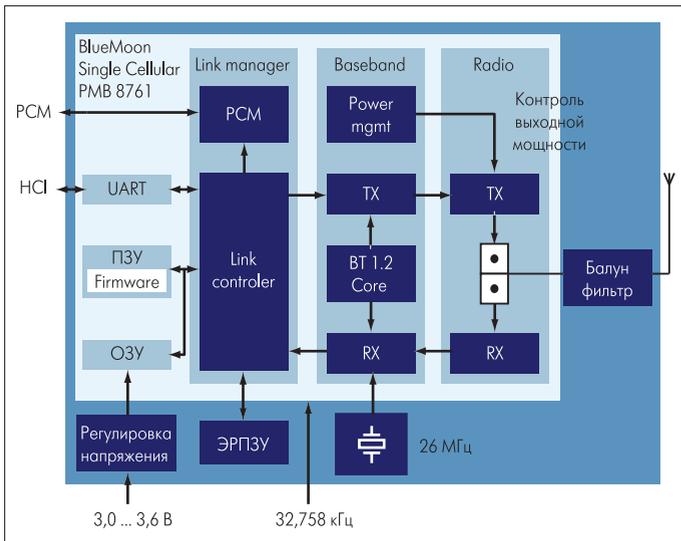


Рис. 5. Модуль PBA31307 и его структурная схема

может выполнять программы пользователей. Для отладки системы в состав микросхемы введён интерфейс JTAG. PMB8753 поддерживает спецификацию Bluetooth 2.0 + EDR, в том числе скорости обмена до 3 Мбит/с.

Важная особенность ИС – если устройство подключено к персональной сети Bluetooth и к беспроводной локальной сети (WLAN), аппаратно поддерживается бесконфликтная работа этих сетей в соответствии со стандартом IEEE 802.15.2 Packet Traffic Arbitration. Схема контроля блокирует одновременную работу передатчиков и приемников WLAN и Bluetooth, разрешая работу одному либо другому на основе приоритизации пакетов.

Внутренние узлы ИС связаны тремя шинами: шиной низкого потребления, процессорной шиной и периферийной шиной. Шина низкого потребления обслуживает контроллер портов и систему управления электропитанием микросхемы. Она обеспечивает переход микросхемы в рабочий режим из режима пониженного энергопотребления. К периферийной шине подключены устройства, реализующие Bluetooth-интерфейс – телекоммуникационный Bluetooth-процессор,

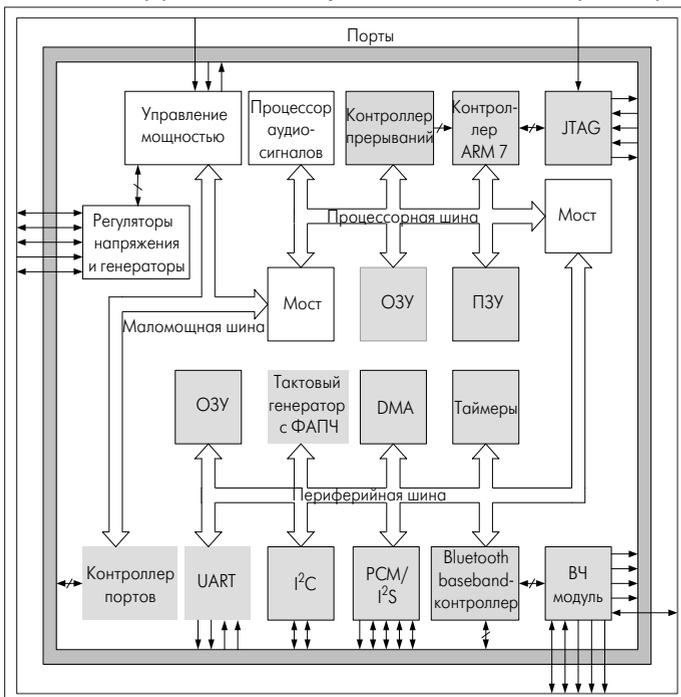


Рис. 6. Функциональная схема ИС PMB8753

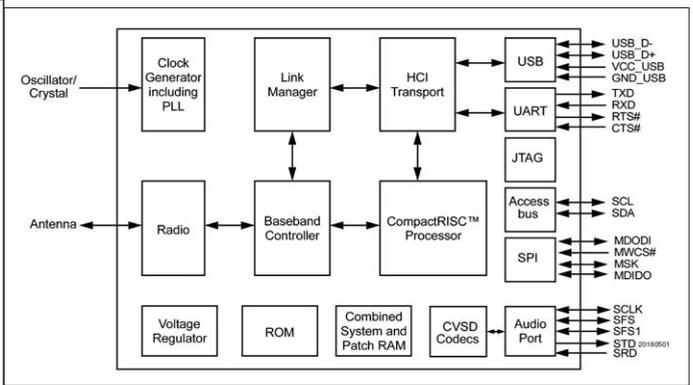


Рис. 7. Функциональная схема микромодуля LMX5453

таймеры, задающий генератор с ФАПЧ, системное ОЗУ, а также порты данных для передачи через беспроводной интерфейс (UART и PCM) и контроллер прямого доступа к памяти (DMA). К процессорной шине подключен процессор ARM7, контроллер прерываний, ОЗУ, ПЗУ, а также процессор обработки аудиоданных. Для хранения служебных данных Bluetooth-устройства (конфигурация) можно использовать дополнительную EEPROM-память, подключаемую к Bluetooth-процессору по интерфейсу I<sup>2</sup>C.

Порт UART (3,25 Мбит/с) работает в асинхронном режиме, поэтому обмен цифровыми аудиопотоками эффективнее проводить по отдельному интерфейсу PCM. Работа в синхронном режиме позволяет использовать его пропускную способность наиболее полно. Пропускной способности интерфейса достаточно для организации двухдвухнаправленных аудиоканалов.

Питание на различные функциональные узлы микросхемы подаётся через отдельные контакты. Такое решение позволяет реализовывать экономичные режимы энергопотребления в разных режимах работы системы или не запитывать ненужные узлы (например, порт интерфейса PCM).

Для синхронизации предназначены две частоты – опорная и частота низкого потребления. Опорная частота используется микросхемой в активном режиме для синхронизации ее основных функциональных узлов. Частота низкого потребления используется микросхемой в "спящем" режиме. Все частоты генерируются либо встроенными генераторами с кварцевыми резонаторами, либо могут быть поданными извне.

Высокочастотная часть изделия включает передатчик с программируемой выходной мощностью от -45 до 6 дБм, выход для внешнего усилителя (до 20 дБм), приёмник с автоматической регулировкой усиления, антенный переключатель, подсистему фильтрации входного сигнала и цифровой демодулятор принимаемого сигнала.

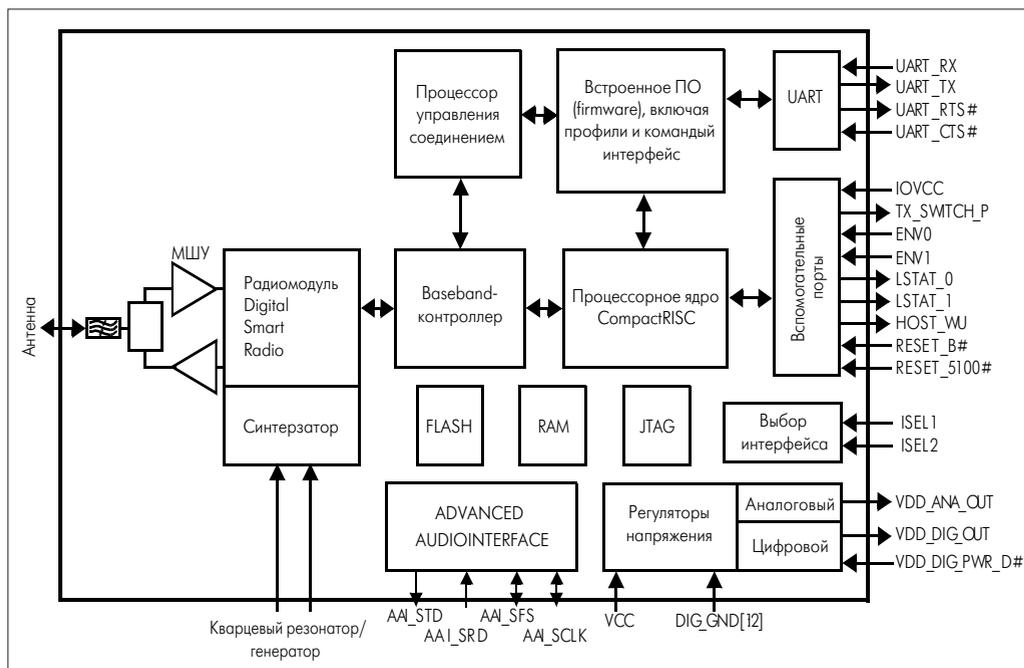
К передатчику микросхемы может быть подключена как непосредственно антенна, так и внешний усилитель мощности. Для обеспечения его работы микросхема формирует ряд управляющих сигналов.

Микросхема PMB8753 фирмы Infineon – очень удобный для разработчика функционально законченный узел, позволяющий реализовывать широкий класс задач беспроводного обмена данными.

### ПРОДУКТЫ BLUETOOTH КОМПАНИИ NATIONAL SEMICONDUCTOR

Продукция фирмы National Semiconductor более разнообразна [7]. В ее ассортименте – функционально законченные порты с дополнительными функциями и микросхемы – узлы для создания порта Bluetooth (табл.2).

Микромодуль LMX5453 является функционально законченным портом Bluetooth 2.0 (рис.7). В небольшом модуле (6,1 x 9,1 x 1,2 мм) интегрированы baseband-процессор и радиотрансивер, а также па-



средственно к модулю порта с импедансом 50 Ом через встроенный антенный переключатель и фильтр.

Наиболее современный представитель семейства Simple Blue – модуль LMX9830 (6 x 9 x 1 мм), поддерживающий спецификацию Bluetooth 2.0.

Кроме модулей производятся и интегральные схемы, реализующие отдельные функции Bluetooth-интерфейса. Так, ИС LMX5252 – это радиотрансивер с узлом синхронизации. Он связан с baseband-процессором через последовательный интерфейс. Малогабаритный корпус (6 x 6 мм) и низкое напряжение питания (2,5–3 В) делают ИС LMX5252 удобной для применения в недорогих мобильных устройствах.

**Рис. 8. Функциональная схема модуля LMX9820A**

мять, универсальный контроллер CompactRISC, контроллеры портов UART и USB 2.0 (12 Мбит/с) для обмена с хост-устройством по протоколу HCI, а также аудиоинтерфейс AAI (Advanced Audio Interface) для подключения внешнего PCM-кодека с частотой кодирования 8 кГц. Устройство стало преемником предшествующей модели – микромодуля LMX5452, поддерживающего версию Bluetooth 1.2.

**Таблица 2. Продукция фирмы National Semiconductor для Bluetooth**

Наименование	Особенности	Конструктив
CP3SP33	Многофункциональный коммуникационный процессор с LLC-контроллером Bluetooth 1.2	ИС в корпусе FBGA-224 или FBGA-144
LMX5252	Bluetooth-трансивер и узел синхронизации	Микромодуль в корпусе LLP-36
LMX5453	Порт Bluetooth 2.0	Микромодуль в корпусе LLP-36
LMX5452	Порт Bluetooth 1.2	Микромодуль в корпусе LLP-36
LMX9830	Порт Bluetooth 2.0 семейства Simple Blue с поддержкой стека протоколов Bluetooth верхних уровней	Модуль BGA-60
LMX9820A	Simple Blue с поддержкой стека протоколов Bluetooth верхних уровней	Модуль в корпусе SB-116B

Компания производит и полнофункциональные Bluetooth-модули семейства Simple Blue, поддерживающие не только HCI-интерфейс (т.е. интерфейс с host-контроллером Bluetooth, реализующим Bluetooth-протоколы верхних уровней), но и способные непосредственно работать с потоками данных, поступающими через последовательный интерфейс. Это до минимума ограничивает необходимость вмешательства в работу модуля со стороны внешнего процессора. Модуль LMX9820A представляет собой функционально законченное Bluetooth-устройство для мобильных и встроенных приложений (рис.8). Он поддерживает версию Bluetooth 1.1 и работает под управлением входящего в его состав 16-битного RISC-ядра. Процессор поддерживает весь стек протоколов Bluetooth 1.1. Модуль оснащен встроенными ОЗУ и flash-памятью. Изделие работоспособно в диапазоне температур -40...85°C.

Для ввода-вывода аудиопотоков предназначен аудиоинтерфейс AAI, оптимизированный для подключения внешнего PCM-кодека MC145483 (Motorola) или MSM7717 (OKI).

Цифровому трансиверу Bluetooth из внешних устройств необходим только 12-МГц генератор (можно использовать встроенный с внешним кварцевым резонатором). Антенна подключается непо-

ИС CP3SP33 представляет собой коммуникационный процессор – устройство, оснащенное 16-разрядным универсальным RISC-процессором и DSP-ядром (с фиксированной точкой), контроллерами памяти и прямого доступа к памяти, 10-разрядным 10-канальным АЦП, телематическими и аудиокодеками. Кроме того, CP3SP33 включает в себя разнообразные внешние интерфейсы – 4 асинхронных порта UART, порты USB 2.0 и CAN 2.0b, порты цифровой аудиошины I<sup>2</sup>S, AAI, Microwire/SPI, два порта последовательного канала ACCESS.bus (совместим с I<sup>2</sup>C), а также модуль с коммуникационным контроллером Bluetooth 1.2. Для создания законченного Bluetooth-устройства к CP3SP33 необходимо подключить внешний трансивер, например упомянутую ИС LMX5252.

Столь высокая концентрация вычислительной мощности, памяти и разнообразных интерфейсов на одном кристалле позволяет использовать данную ИС для решения самых разнообразных задач, включая разработку многофункционального унифицированного модуля, что может значительно повысить экономическую эффективность производства. Диапазон рабочих температур микросхемы -40...85°C.

В 2005 году было выпущено 315 млн. единиц различных пользовательских продуктов, содержащих Bluetooth-интерфейс. Стандарт этот жив и развивается. А вместе с ним – и элементная база.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. www.bluetooth.org
2. IEEE Std 802.15.1.-2002. Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Wireless Personal Area Networks (WPANs). – IEEE, 14 June, 2002.
3. Мейтин М. Bluetooth: устройства всех стран, соединяйтесь! ... без проводов. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2000, №5.
4. www.bluetooth.com
5. Латин А. Интерфейсы. Выбор и реализация. – М.: Техносфера, 2005.
5. Specification of the Bluetooth System. Core. – Bluetooth Specification Version 1.0 B.
6. www.infineon.com
7. www.national.com/appinfo/wireless/bluetooth.html