

## Обзор компонентов Bluetooth

Александр КРАТЬКО  
kratko@tut.by  
Роман АЛЕКСАНДРОВ  
roman@finestreet.ru

**В статье рассмотрена типовая элементная база, используемая для построения устройств, поддерживающих технологию Bluetooth, дан сравнительный анализ. Особое внимание уделено наиболее перспективным и простым в применении — встраиваемым Bluetooth-модулям. Дан краткий обзор основных производителей встраиваемых модулей Bluetooth.**

Широкий интерес к этой недавно появившейся технологии беспроводной связи привел к увеличению числа производителей компонентов для Bluetooth и существенному снижению цены на готовые изделия с поддержкой этого стандарта обмена данными. Классифицировать все многообразие компонентов Bluetooth целесообразно по критерию «степень интеграции». Условно можно разбить все Bluetooth-компоненты на три поколения. Для построения полноценного Bluetooth-модуля понадобится пять-шесть микросхем первого поколения, три-четыре второго поколения и всего одна или две третьего поколения. Многие производители радиоэлектронной аппаратуры все больше отдают предпочтение готовым модулям — компонентам третьего поколения. Их использование является единственным решением, когда необходимо обеспечить крайне быстрый выпуск изделия на рынок, либо в ситуации, когда разработка собственного модуля экономически невыгодна, например в случае единичного и экспериментального производства<sup>1</sup>.

### Микросхемы физического уровня

#### Микросхемы радиоканала

Стремление производителей электронной техники к повышению технологичности и надежности новых конструкций привело к тому, что микросхемы этого типа практически вытеснены микросхемами более высокого уровня интеграции и функционально законченными Bluetooth-модулями. Тем не менее некоторые фирмы до сих пор выпускают микросхемы для работы на физическом уровне. Например, к ним относится широко известная микросхема T7024 от Atmel. Недостатками использования такой элементной базы являются необходимость установки большого количества внешних навесных элементов и сложность управления. Основной и, пожалуй, единственной областью, где применение

подобных микросхем оправданно, являются сугубо специфические задачи, которые невозможно реализовать другими способами. В качестве такого примера можно привести необходимость совмещения различных радиопередающих устройств, использующих общий частотный диапазон. Микросхема входных радиочастотных цепей T7024 (рис. 1) специально была разработана для использования в диапазоне 2,4–2,5 ГГц. Она содержит в себе усилитель мощности УМ, малошумящий усилитель МШУ и антенный переключатель. Усилитель мощности выполнен трехкаскадным, с аналоговым управлением и возможностью перевода усилителя в выключенное состояние. Усилитель обеспечивает выходную мощность по высокой частоте +23 дБм. МШУ представляет собой управляемый двухкаскадный усилитель с типовым коэффициентом шума 2,1 дБ. Чип помещен в малогабаритный корпус QFN20. При использовании этой микросхемы цепи фильтрации, согласования, стабилизации и фильтрации напряжения питания потребуются реализовать на внешних дискретных компонентах. Поэтому очевидно, что при использовании микросхем этого клас-

са трудно добиться хороших массогабаритных параметров.

Немного особняком в ряду компонентов этого класса стоят микросхемы ВЧ-усилителей мощности, например RF2172 от фирмы RF Micro Devices, PA2423 от фирмы SiGe и CGB240 компании TriQuint Semiconductor. Обычно их используют в тех случаях, когда требуется повышение мощности существующих устройств, например, если нужно перейти от класса II по мощности к классу I, а требуемые компоненты высокого уровня интеграции с данным классом мощности отсутствуют. Микросхема RF2172 представляет собой компактный (корпус GFN16 размерами 4×4×1 мм) ВЧ-усилитель средней мощности с высоким КПД. Тип управления — аналоговый. Микросхема выполнена на подложке из полупроводникового арсенида галлия, а в качестве усилительного элемента используется биполярный гетеротранзистор (HBT — Heterofunction Bipolar Transistor). Типовое напряжение питания составляет 3,6 В, а выходная мощность 23,5 дБм обеспечивает до 100 мВт на антенном разъеме. КПД при максимальной выходной мощности составляет 45%. Диапазон регулировки усиления — 0–28 дБ. Расширенный частотный диапазон (902–928 МГц и 2,4–2,5 ГГц) обеспечил широкое использование этого усилителя не только в приложениях WLAN, Bluetooth, но и в мобильных телефонах. Типовая схема включения RF2172 для усиления ВЧ-сигнала в диапазоне 2,45 ГГц приведена на рис. 2. Усилитель мощности CGB240 представляет собой монолитную интегральную схему (МИС), способную работать в диапазоне 2,4–2,5 ГГц. При максимальной выходной мощности 23 дБм обеспечивается КПД 50%, коэффициент усиления может варьироваться при помощи аналогового управления. Микросхема помещена в миниатюрный корпус MSOP-10 размерами 3×3×1,05 мм, способна работать в широком диапазоне питающего напряжения 2,0–5,5 В при температуре в диапазоне –20...+85 °С. Схема включения усилителя мощности при использовании согласующих цепей на дискретных компонентах приведена

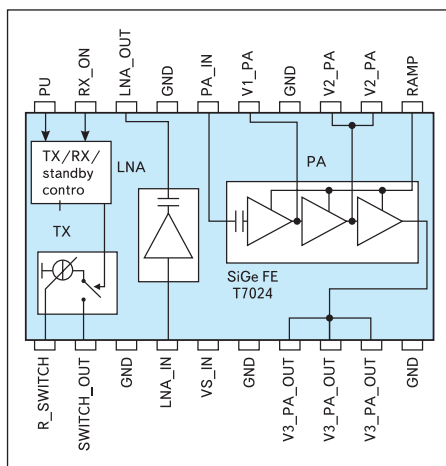


Рис. 1

<sup>1</sup> Имеется в виду существенно более высокая стоимость НИОКР по разработке устройства на наборе микросхем средней степени интеграции в сравнении с применением готового модуля

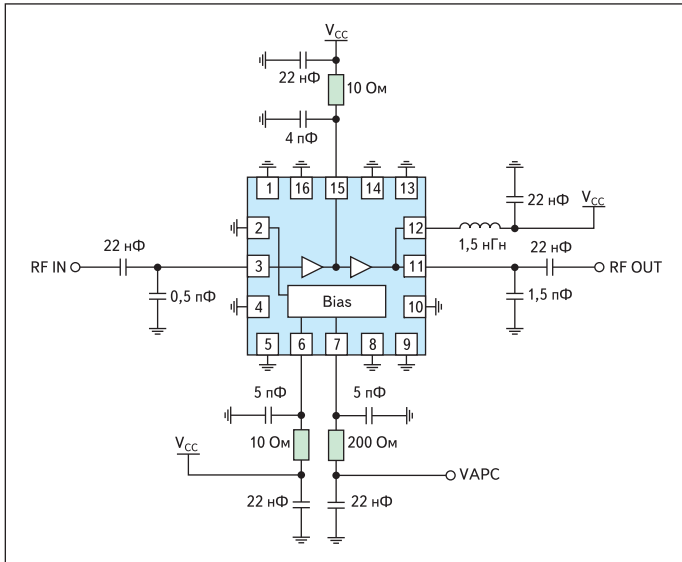


Рис. 2

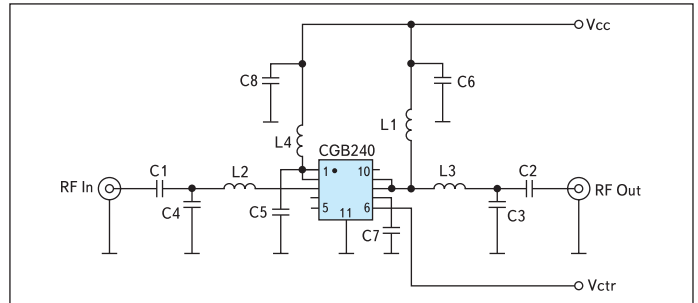


Рис. 3

на рис. 3. Из рис. 3 и 4 хорошо видно, что для этих микросхем также требуется большое число внешних элементов.

**Трансиверы**

К компонентам этого класса относятся, к примеру, микросхемы BCM2002 от Broadcom, LMX3162 от National Semiconductors, SiW1711 фирмы RF Micro Devices, ML7050 фирмы OKI, SGN6010 фирмы Signia и др. В отличие от микросхем радиоканала они обладают несколько большей функциональностью, так как включают в себя все необходимые элементы для преобразования радиочастотных сигналов в элек-

трические. Но хоть и в меньшей степени, для них справедливо все вышесказанное для микросхем радиоканала, т. е. в современных разработках они используются довольно редко благодаря вытеснению их компонентами с более высокой степенью интеграции. Ярким представителем этой категории является однокристалльный радиочастотный трансивер компании Xemics XE1413, совместимый со спецификацией Bluetooth v1.2. Он отличается низким напряжением питания (1,8 В) и сверхмалой потребляемой мощностью, что в совокупности с небольшими размерами микросхемы (корпус TQFN40 размерами 6×6×0,75 мм) обеспечивает простоту его использования в малогабаритных устройствах с батарейным питанием, например в телефонных гарнитурах. Выходная мощность передатчика по высокой частоте составляет +3 дБм, а чувствительность приемника –85 дБм. Мощностью передатчика можно управлять с дискретом в 2 дБ. Управление и весь обмен с трансивером осуществляется через последовательный интерфейс SPI, что не создает никаких проблем с интеграцией в модуль. Чип изготовлен по Si-Ge BiCMOS-технологии. Применение этого трансивера в Bluetooth-модулях — это лишь одна из его областей

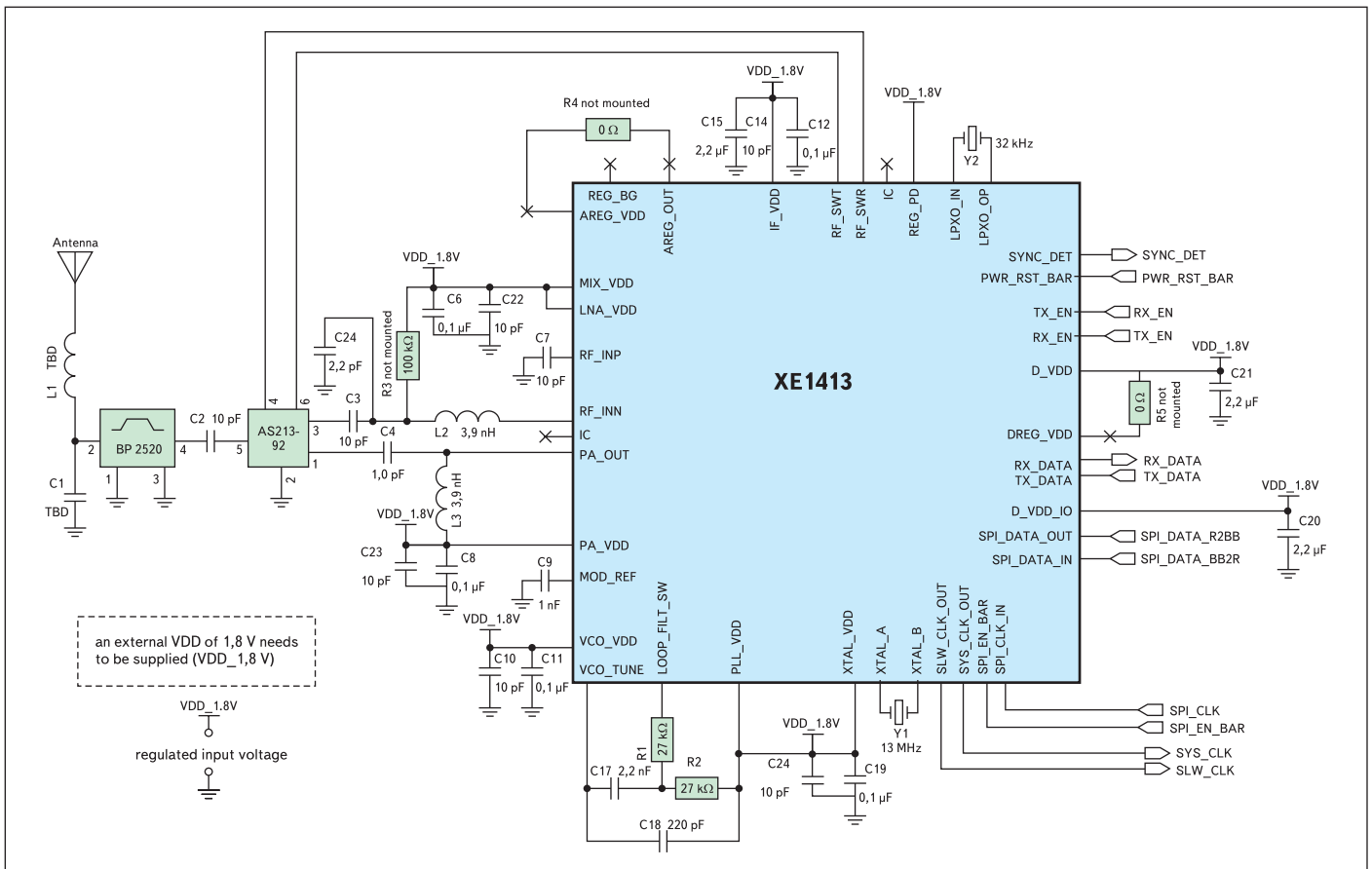


Рис. 4

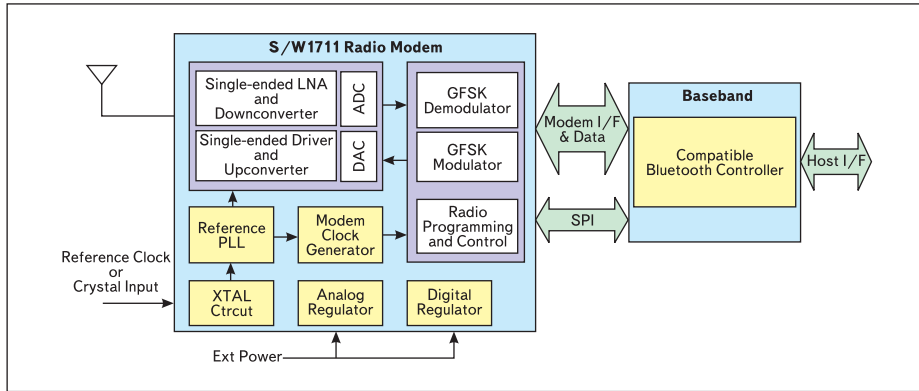


Рис. 5

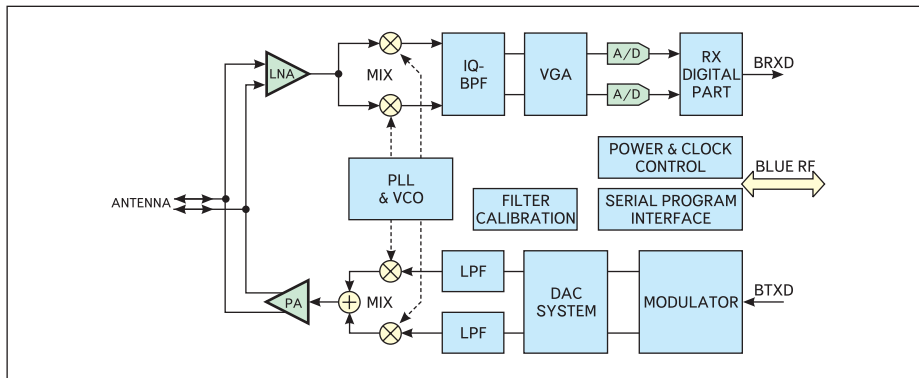


Рис. 6

применения, другие — разнообразная медийная техника, мобильные и сотовые телефоны, «наладонники», ноутбуки. Расширенный температурный диапазон (-40...+85 °C) и высокая долговременная надежность микросхем обеспечивает ей сбыт в сегменте производства промышленной и военной электронной аппаратуры. Типовая схема включения приведена на рис. 4, из которого видно, что, несмотря на большое количество требуемых внешних компонентов, при использовании малогабаритных комплектующих для поверхностного монтажа, например типоразмера 0603, проблем с габаритами модуля возникнуть не должно.

Другой популярной микросхемой этого класса является SiW1711, которая представляет собой высокочастотный трансивер и модем, объединенные на одном полупроводниковом чипе. По своим техническим характеристикам микросхема совместима со спецификациями Bluetooth v1.1 и v1.2. В приемной части микросхемы использовано прямое преобразование частоты, что исключает необходимость применения внешних фильтрующих цепей. Чувствительность приемной части трансивера равна -85 дБм, а мощность передатчика составляет +4 дБм по высокой частоте (соответствует классу 2). Микросхема потребляет весьма малую мощность, а наличие на чипе внутренних цепей стабилизации напряжения питания позволяет использовать источники с разбросом пи-

тающего напряжения 1,62–3,63 В. Структурная схема трансивера и его место в Bluetooth-модуле показаны на рис. 5.

Для работы на коротких дистанциях подойдет радио-трансивер STLC2150 (рис. 6) производства компании ST Microelectronics, совместимый со спецификацией Bluetooth v1.2, класса мощности 2 и 3. При необходимости реализовать на этой микросхеме модуль с классом мощности 1 можно воспользоваться внешним усилителем ВЧ-мощности. Трансивер поддерживает скорость передачи данных до 432 кБод при симметричном режиме и 721 кБод при асимметричном. Напряжение питания должно находиться в диапазоне 2,62–2,78 В, что в некоторых случаях создает определенные неудобства. Чип помещен в корпус VQFPN48 размерами 7×7×1 мм. Этот

трансивер рекомендуется для применения в компьютерной периферии, модемах, камерах, карманных компьютерах, мобильных телефонах и др.

### Контроллеры физического уровня

Контроллеры физического уровня, такие как, например, LMX5001 фирмы National Semiconductors и XE1401 фирмы Xemics, обеспечивают первичный контроль физического уровня передачи и предназначены для использования совместно с трансиверами.

### Компоненты, объединяющие контроль физического уровня с логическим управлением

Данный класс компонентов является на данный момент наиболее популярным, благодаря чему он наиболее широко представлен на рынке. Устройства этого класса, как правило, обладают встроенной поддержкой протоколов нижнего уровня LMP и L2CAP. **Микросхемы контроллеров логического и физического уровней (однокристальные Bluetooth-контроллеры)**

Компоненты данного класса, несмотря на то, что они выпускаются в виде однокристальных интегральных микросхем, имеют модульную внутреннюю структуру, примерная блок-схема которой изображена на рис. 7. В качестве управляющего микроконтроллера в подавляющем большинстве случаев используется микросхема с ядром ARM7TDMI, его использование можно считать стандартом де-факто. Исключением является лишь фирма National Semiconductor, использующая собственное ядро CompactRISC. В зависимости от типа используемой программной памяти контроллеры данного класса можно разбить на три категории:

- а) встроенное однократно программируемое ПЗУ (ROM);
- б) встроенная флэш-память программ;
- в) внешняя память программ.

Очевидно, что модели со встроенной ROM-памятью обладают наименьшей стоимостью, но в то же время модули с флэш-памятью обладают наибольшей гибкостью, в том числе многие из них позволяют реали-

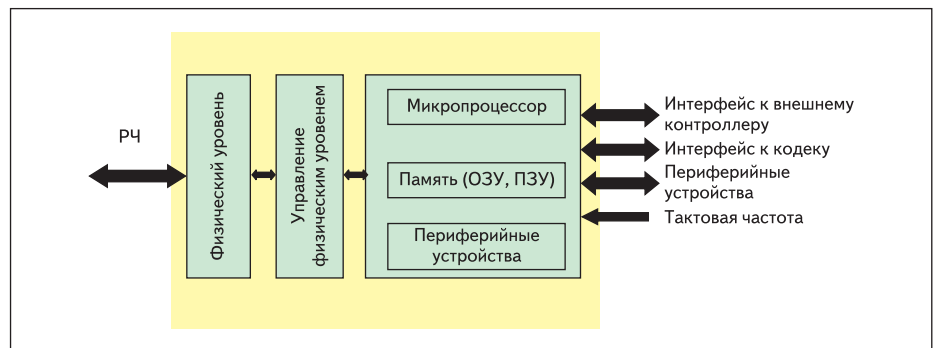


Рис. 7

зацию на их базе логических протоколов высокого уровня.

Бесспорным лидером в данном сегменте рынка является английская фирма Cambridge Silicon Radio (CSR), продающая более половины всех интегральных микросхем данного класса на рынке. Тем не менее большинство крупных фирм, таких, например, как Philips, Texas Instruments, ST Microelectronics, OKI, Toshiba так же представили в последнее время свои разработки в классе однокристальных контроллеров Bluetooth.

Для работы таких микросхем требуется ряд внешних элементов. В их число обычно входят компоненты управления электропитанием (стабилизаторы, супервизоры), элементы тактирования (генераторы или кварцевые резонаторы), согласующие цепи для подсоединения антенны, флэш-память для контроллеров с внешней памятью и т. д. Кроме этого, компоновка электрорадиоэлементов и разводка высокочастотных цепей требуют специальных знаний в этой области. В связи с этим особую популярность приобрели модули, содержащие все необходимые компоненты, многие из которых содержат также встроенную антенну.

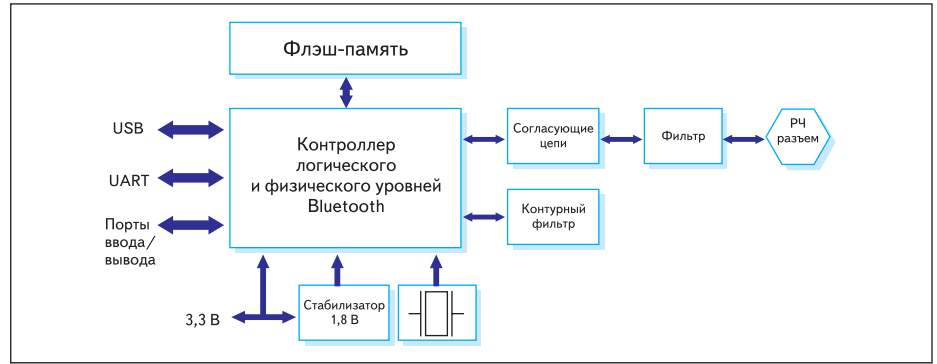


Рис. 8

**Модули контроллеров логического и физического уровней (Bluetooth-модули)**

В отличие от описанных микросхем-контроллеров, модули являются законченными полнофункциональными устройствами, допускающими встраивание их в новую разработку с минимумом дополнительных компонентов или вообще без них. Типовая схема модуля приведена на рис. 8, пример его внешнего вида — на рис. 9. На рис. 10 изоб-

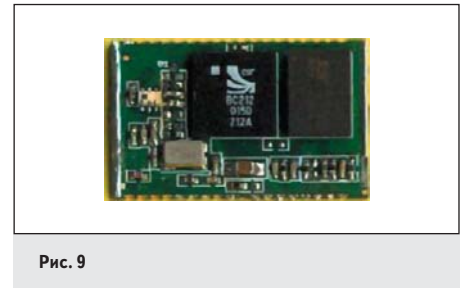


Рис. 9

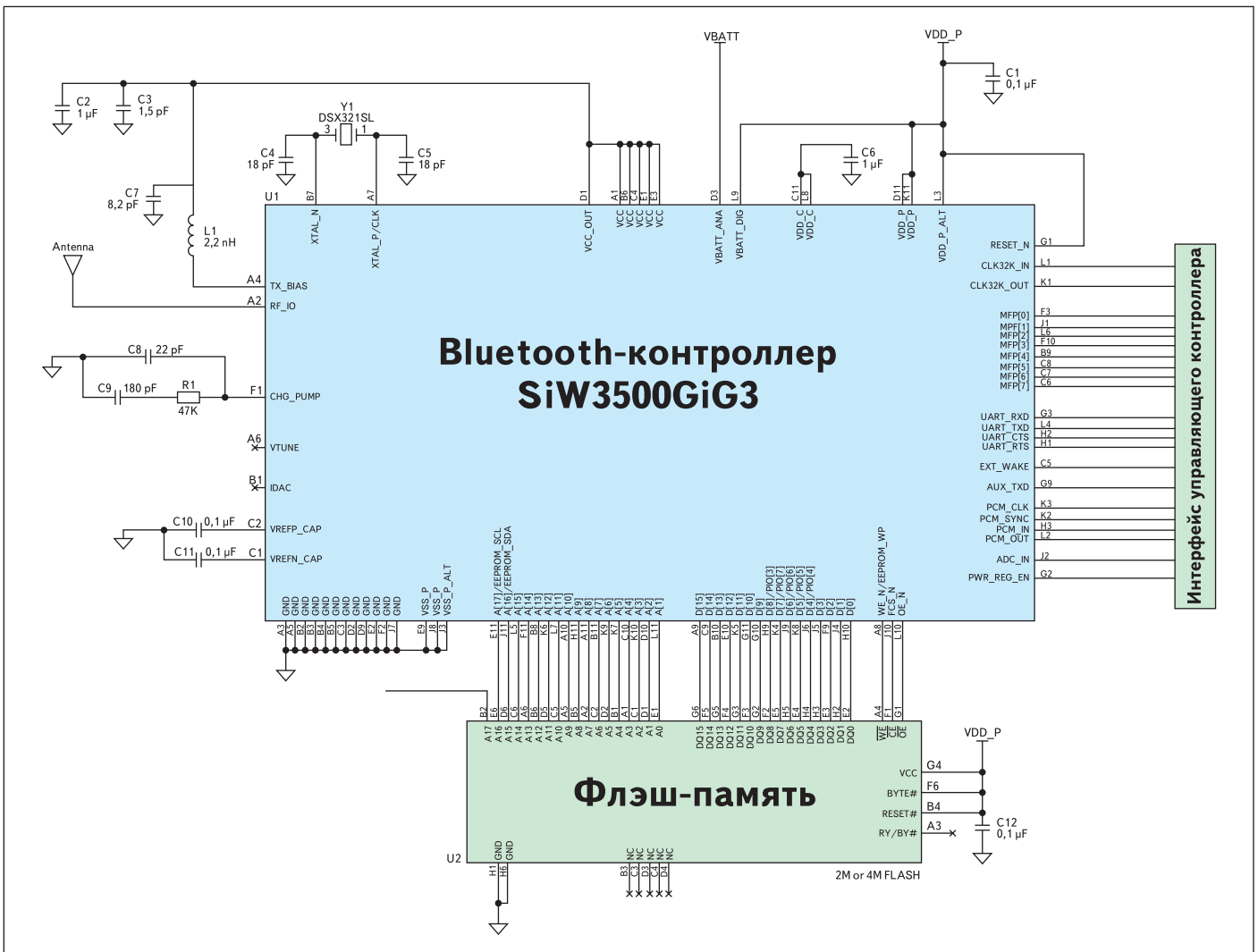


Рис. 10

ражена типовая принципиальная схема Bluetooth-модуля на базе контроллера SiW3500 фирмы RF Micro Devices.

Такие модули пользуются максимальной популярностью среди разработчиков средне-серийной продукции благодаря широкому выбору этих компонентов, их хорошей взаимозаменяемости и сравнительно низкой стоимости (в оптовых количествах цена не превышает \$15), поэтому остановимся на их рассмотрении подробнее. Перечень производителей Bluetooth-модулей огромен, многие из них выпускаются малоизвестными южноазиатскими фирмами, поэтому упомянем лишь некоторые модели, доступные на отечественном рынке. Это WBC02A гонконгской фирмы JL World, ROK101004 фирмы Infineon, модули фирм EIKON, Asia Pacific Microsystems и других производителей. Крупные фирмы-производители микросхем, такие как Infineon, конструируют модули на базе чипов собственного производства, остальные же, как правило, используют чипы сторонних фирм, например CSR. Являясь крупным производителем интегральных микросхем для модулей Bluetooth, фирма CSR также предлагает довольно развитую программную поддержку своих продуктов. В первую очередь, это интегрированная система разработки Blue Lab, позволяющая пользователю реализовывать программные протоколы и загружать их в модули (естественно, в тех случаях, когда модули имеют перезаписываемую флэш-память достаточного объема). Так что же потребуется разработчику для внедрения такого модуля в свое устройство? Однозначно ответить на этот вопрос сложно, для начала следует определиться, что конкретно от него требуется. В наиболее простом случае, если стоит задача просто связать два устройства по беспроводному каналу, это можно сделать посредством поддерживаемых модулями протоколов LMP и L2CAP, а в дальнейшем можно передавать между модулями данные посредством ACL пакетов данных. Единственное, но весьма существенное ограничение — в этом случае будет отсутствовать совместимость с протоколом Bluetooth на программном уровне, т. е. устройство не сможет работать с персональным компьютером и другими стандартными устройствами, оборудованными адаптерами Bluetooth. Другой крайний случай — поддержка всех протоколов и профилей Bluetooth. Для этих целей существуют готовые программные стеки, но хранить такой стек под силу лишь продвинутым устройствам и персональному компьютеру — он занимает порядка десятков мегабайт. Реальным устройствам не нужна поддержка всех существующих профилей, поэтому от разработчика потребуется выбрать и реализовать те профили и протоколы, которые будут требованы в его устройстве. Обязательными для всех устройств яв-

ляются два профиля — GAP (General Access Profile) и SDAP (Service Discovery Application Profile), однако сами по себе эти профили являются бесполезными, организовать при их помощи собственно передачу данных невозможно — они предназначены лишь для служебных целей. Наиболее популярным и самым простым профилем для передачи данных является профиль SPP (Serial Port Profile), эмулирующий работу COM-порта. Система разработки Blue Lab фирмы CSR содержит в своем составе примеры реализации этого профиля, но они обладают ограниченной функциональностью. Существенным недостатком стандарта Bluetooth можно считать отсутствие «облегченной» его версии, т. е. минимального набора команд, достаточного для реализации того или иного профиля. В целом можно оценить трудозатраты на написание полноценного стека для SPP профиля в несколько сотен и даже тысяч человеко-часов, поэтому для каждого конкретного случая следует оценить затраты на разработку с предполагаемой экономией в сравнении с готовыми модулями с поддержкой высокоуровневых протоколов. В качестве компромиссного варианта может служить покупка готового программного стека. Как уже отмечалось выше, в некоторых случаях (когда модуль имеет перезаписываемую память достаточного объема) протоколы высокого уровня можно загружать непосредственно в модуль, в остальных случаях программный стек реализуется в отдельном контроллере.

Рассмотрим более подробно общие черты и различия Bluetooth-модулей разных производителей.

#### Общие черты

##### • Программный интерфейс

На программном уровне все Bluetooth-модули имеют интерфейс HCI (Host Controller Interface), объединяющий протоколы LMP и L2CAP. Все модули, сертифицированные на соответствие спецификации Bluetooth, обязаны «понимать» любые команды HCI, но при этом стандартом не запрещено использование в модулях собственных уникальных команд. Надо лишь понимать, что использование таких специфических команд при «общении» собственного устройства с Bluetooth-модулем делает невозможной его замену аналогичным модулем другого производителя.

#### Отличия

##### • Физический интерфейс

Физические интерфейсы Bluetooth-модулей стандартизированы и универсальны для всех устройств класса, это транспорты USB, UART и RS232. На практике наиболее часто встречаются лишь первые два, причем некоторые модули могут иметь только USB-интерфейс, некоторые — только UART, но большее количество модулей имеют оба интерфейса. Кроме этого, большинство модулей

имеют интерфейс для подключения аудиокодека (PCM) и ряд выводов общего назначения (GPIO), которые пользователь может использовать по своему усмотрению.

##### • Класс мощности

Стандартом оговорено 3 класса Bluetooth-компонентов по выходной мощности, реально же на рынке представлены модули класса I и класса II. Следует, однако, учитывать, что соответствие определенному классу мощности не означает, что модуль будет работать на максимально допустимой мощности для данного класса. Например, устройства, соответствующие классу II, могут выпускаться с максимальной мощностью в 2 дБм, притом что стандарт допускает 4 дБм.

##### • Поддержка пикосетей

Не все модули поддерживают соединения типа точка-мультиточка, некоторые поддерживают лишь соединения типа «точка-точка»

##### • Наличие встроенной периферии

К встроенной периферии чаще всего относятся аудиокодек.

##### • Наличие/отсутствие встроенной антенны

##### • Корпус

Bluetooth-модули имеют довольно широкий диапазон в плане габаритов и способов монтажа — от «старомодных» плат с выводами в виде PLS-линейки до современных корпусов BGA, по площади не превышающих 1 см<sup>2</sup>.

##### • Рабочий диапазон температур: чаще Bluetooth-модули предназначены для работы в расширенном диапазоне температур

##### • Техническая поддержка

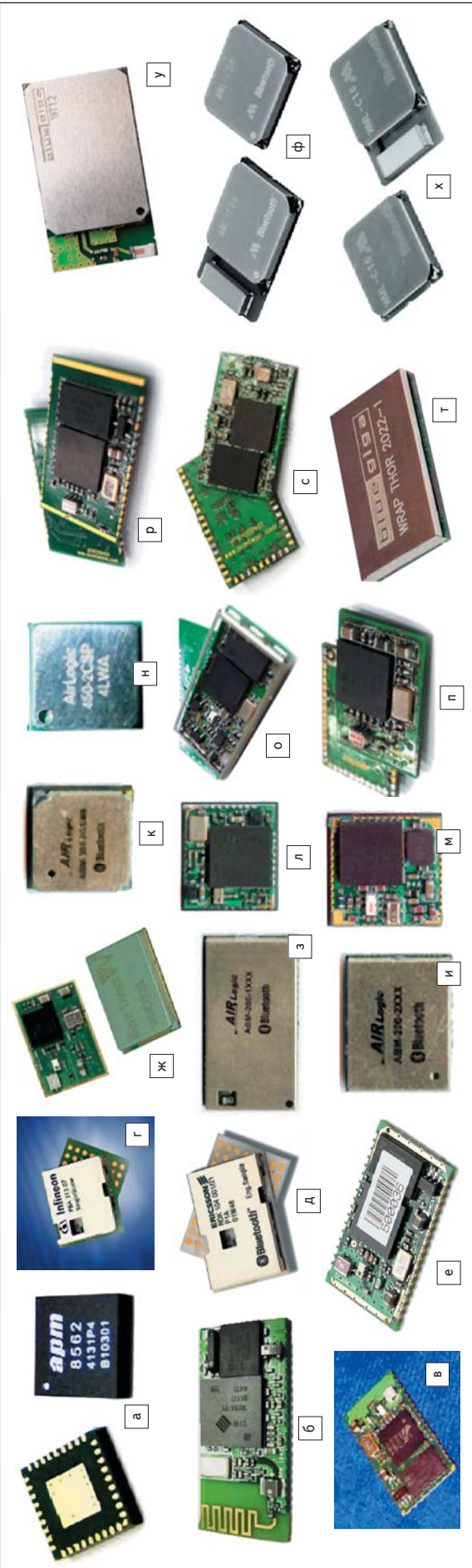
Техническая поддержка существенно различается у фирм-производителей Bluetooth-модулей. Если некоторые производители сопровождают свою продукцию лишь куцем листком с указанием назначения выводов, то другие обеспечивают пользователя полноценной документацией, отладочными и оценочными наборами (development и evaluation kit), программным обеспечением, поддержкой пользователя на веб-сайте и с помощью электронной почты. Следует отметить, что фирмы-производители микросхем-контроллеров (такие, как CSR) не осуществляют поддержку изделий на базе своих контроллеров и выпускаемых третьими фирмами. Всю ответственность за техническую поддержку несет конечный производитель модуля. Типично, что наилучшие условия предлагаются крупными фирмами, такими как National Semiconductors, Infineon, Texas Instruments и т. д. В то же время никто из них практически не работает с потребителями небольших объемов продукции. В таблице 1 приведены сравнительные характеристики некоторых наиболее ярких Bluetooth-модулей. Рассмотрим, какие фирмы<sup>2</sup> присутствуют на рынке компонентов для Bluetooth.

Это, например, корейская фирма AirLogic (<http://www.airlogic.co.kr/eng>), основанная в 2002 году, которая специализируется на разработке и производстве устройств беспроводной

<sup>2</sup> Сравнительные параметры модулей всех фирм, вошедших в обзор, приведены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнительные характеристики некоторых Bluetooth-модулей

Название	ARM8502	ARM1842	MODSMTC 201	PVA 31307	ROK 104001	BTM-001	WBC-02	ABM-200-1XXX	ABM-200-2XXX	ABM-300-2G5MB	A8M-300-B1	ABM-300TMA-2XXX	ABM-450-2CSP	BTR140	BTR210	BTR310	BTR200	WRAP THOR	WT12	WML-C09	WML-C10	
Производитель	Asia Pacific Microsystems, Inc.	Asia Pacific Microsystems, Inc.	Blue2free	Infineon	Infineon	GlobalSat	JL World Corporation Limited	AirLogic	AirLogic	AirLogic	AirLogic	AirLogic	AirLogic	Avant Wave	Avant Wave	Avant Wave	Avant Wave	BlueGiga	BlueGiga	Mitsumi	Mitsumi	
Класс мощности	II	II	II	I	II	II	II	II	II	II	II	II	II	I	II	II	II	I	II	II	II	
Контролер	Не указан	Не указан	BlueCore-II	Infineon PNB8761	Infineon PNB99080	CSR BlueCore-II	Не указан	Не указан	Не указан	Не указан	Не указан	Не указан	Не указан	CSR BC03	CSR BC04	CSR BC03	CSR BC02	Не указан	Не указан	Не указан	Не указан	
Выходная мощность, тип./макс./дБм	0/+4	0,5	-3/ не указано	Не указано/+7	+1,5/+4	0,5	+1,5/ не указано	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5/ не указано	0,5/ не указано	0,5/ не указано	0,7/ не указано	+14/+18	+3/+1	+4/ не указано	+4/ не указано	
Чувствительность приемника, тип./дБм	-85	-85	-80	-85	-80	-80	-81	-88	-84	-84	-84	-84	-80	-80	-78	-80	-82,5	-82	-11	-80	-80	
Интерфейсы	USB, UART, PCM, GPIO	USB, UART, PCM, GPIO	USB, UART, PCM, GPIO	UART, PCM	USB, UART, PCM, GPIO	USB, UART, PCM, GPIO	USB или UART, PCM, GPIO, SPI	SPI, UART, USB, PCM, GPIO	SPI, UART, USB, PCM, GPIO	SPI, UART, USB, PCM, GPIO	SPI, UART, USB, PCM, GPIO, I2C	SPI, UART, USB, PCM, GPIO	SPI, UART, USB, PCM, GPIO	SPI, USB, UART, PCM, GPIO	SPI, USB, UART, PCM, GPIO	SPI, USB, UART, PCM, GPIO	SPI, USB, UART, PCM, GPIO	SPI, USB, UART, PCM, GPIO	SPI, USB, UART, PCM, GPIO	UART, USB, PCM	UART, USB, PCM	
Корпус	36-выводной LGA	38-выводной LGA	34-выводной LGA	72-выводной BGA	87-выводной LGA	34-выводной LGA	41-выводной LGA	SMD, 36-выводной	SMD, 26-выводной	SMD, 40-выводной	SMD, 38-выводной	SMD, 40-выводной	SMD, 28-выводной									
Габаритные размеры, мм (Д×Ш×В)	7×7×1,8	14×32×2,45	25×14,5×2,3	12×11	15,5×10,5×2,1	25×14,5×2,4	19×13×3	27,5×15×2,8	18×14×2	9,6×9,6×1,9	14×12,5×1,9	10,5×10,5×1,9	8×8×1,7	15×31,2×2,8	13×18×2,2	15×24,5×2,8	13×20×2,2	26×14×3	26×14×3	11,8×12,6×1,9	11,8×12,6×1,9	
Диапазон питающих напряжений, В	2,3-3,63	3,3-7	2,7-3,6	Не указано	2,8-6,5	2,8-3,3	3,1-3,6 или 1,8-1,9	2,7-3,6	2,2-4,2	2,2-4,2	2,6-3,3	2,2-4,2	1,8-3,6	3,3-1,8 В	3,2-3,4	3,2-3,4	3,2-3,4	3,2-3,4	3,2-3,4	1,75-1,85; 2,9-3,4	1,75-1,85; 2,9-3,4	
Потребляемый ток, макс./мА	Не указан	60	78	Не указано	Не указано	60	50	Не указано	28	28	Не указано	28	Не указано	35	35	35	35	160	57,9	60	60	
Температурный диапазон, °С	-40...+85	-40...+85	-25...+75	-40...+85	-20...+75	-20...+75	25...+75	-20...+70	-20...+70	-20...+70	-20...+70	-20...+70	-20...+70	-20...+75	-20...+75	-20...+75	-40...+85	-40...+85	-40...+85	-40...+85	-40...+85	
Наличие встроенной антенны	Нет	Да	Нет	Не указано	Нет	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	По выбору	По выбору	По выбору	По выбору	
Поддержка соединения «точка-точка»	Не указано	Не указано	Да	Не указано	Нет	Да	Не указано	Не указано	Не указано	Не указано	Не указано	Не указано	Не указано	Нет	Нет	Нет	Нет	По выбору	По выбору	По выбору	По выбору	
Дополнительные особенности	Отсутствует встроенный резонатор	Перезаписываемая флэш-память 4 Мбит	Перезаписываемая флэш-память 8 Мбит	Перезаписываемая EEPROM-память для данных	Может устанавливаться с SPP-профилем	Да	Не указано	Требуется два питающих напряжения	Отсутствует встроенный резонатор	Возможность выбора внешнего стабилизатора 1,8 В	Требуется несколько питающих напряжений	Требуется несколько питающих напряжений	Требуется два питающих напряжения	Нет	Нет	Нет	Нет	По выбору	По выбору	Требуется два питающих напряжения	Требуется два питающих напряжения	
Внешний вид	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к	л	м	н	о	п	р	с	т	у	ф	х	



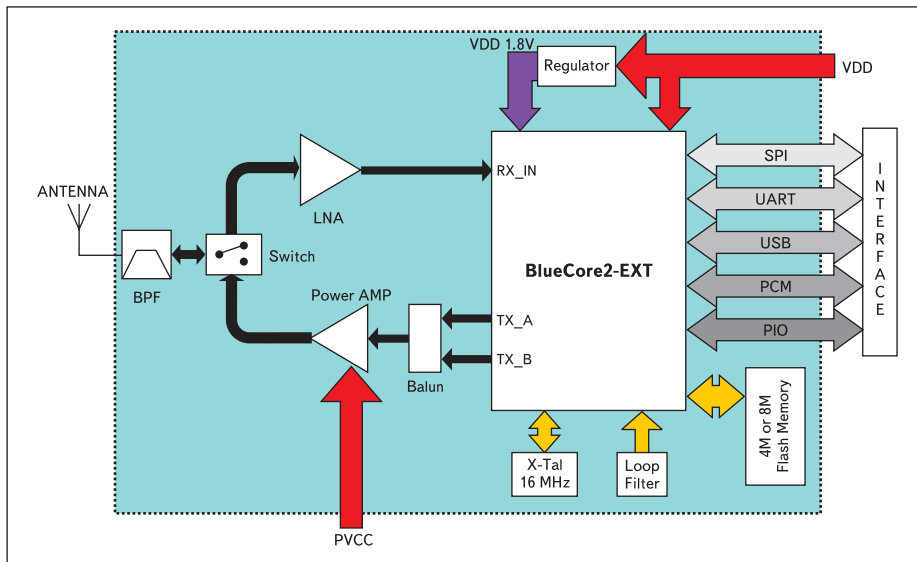


Рис. 11

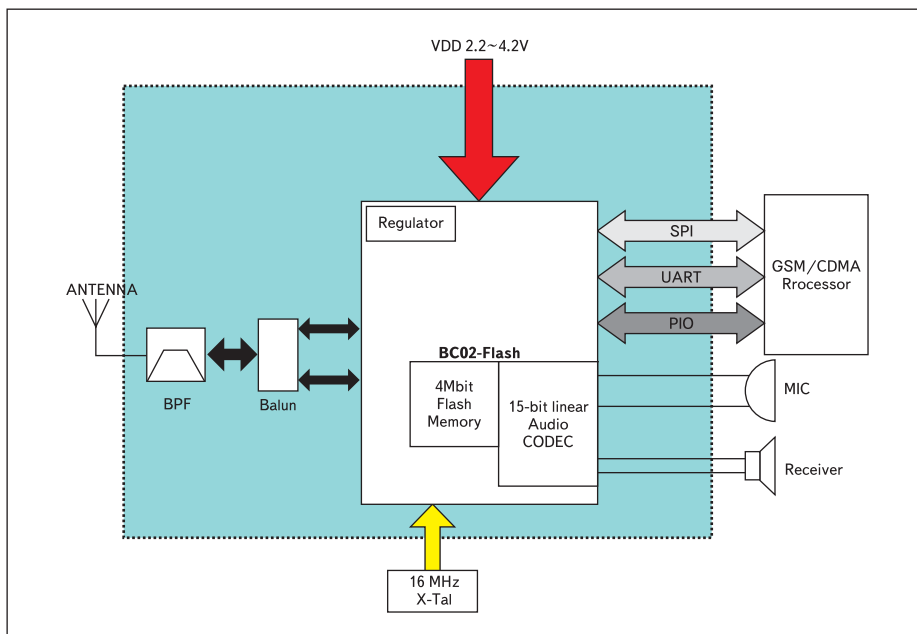


Рис. 12

связи. Основным направлением деятельности фирмы является производство Bluetooth-решений: беспроводных телефонных гарнитур, мостов USB↔Bluetooth. В производстве конечных Bluetooth-устройств AirLogic использует модули собственного производства, среди которых можно найти образцы с поддержкой как первого класса мощности, так и второго. Некоторые модели модулей выпускаются в закрытом экранном корпусе, что обеспечивает хорошую их помехозащищенность. Модули AirLogic отличаются широким набором периферии и наличием двух последовательных интерфейсов: как традиционного для Bluetooth-модулей UART, так и более современного USB. Этот факт обеспечивает легкость интеграции таких модулей в устройства, предназначенные для со-

пряжения с компьютером. Типичным для модулей AirLogic является наличие встроенного PCM-интерфейса с внешними кодеками. Основными областями применения этих модулей являются беспроводные точки доступа, USB-ключи и т. п. Кратко проанализируем принципиальные отличия модулей, производимых компанией AirLogic.

Модули семейства ABM-200 выполнены с металлическим экраном и представлены тремя моделями. Первая из них — ABM-200-1XXX, производство которой начато в 2004 году, совместима со спецификацией Bluetooth v1.1, класс мощности 1 (выходная мощность передатчика по высокой частоте составляет +20 дБм, а чувствительность приемника -88 дБм), предназначена для поверхностного монтажа. Среди рекомендуемых применений этого мо-

дуля ноутбуки и системные платы настольных компьютеров, точки доступа, адаптеры с последовательным интерфейсом, подходит он и для использования в системах автоматизации домов. Не закрыта дорога этому модулю для применения в промышленных средствах автоматизации вследствие расширенного диапазона рабочих температур (-20...+70 °C) и высокой его надежности. Несколько неудобным может оказаться применение этого модуля в карманных компьютерах (КПК) вследствие довольно узкого диапазона питающего напряжения 2,7–3,6 В. Однако, наличие целых четырех режимов энергосбережения с лихвой компенсирует этот недостаток. К особенностям этого модуля также можно отнести раздельное питание высокочастотного усилителя мощности и остальных цепей. Максимальная скорость передачи данных через этот модуль достигает 723,2/57,6 кбит/сек. Встроенная ШИМ обеспечивает кодирование по закону А, и или 13/16-битное линейное кодирование, кроме того, имеется синхронный двунаправленный аудио-интерфейс, поддерживающий до 8000 выборок в секунду. Структурная схема модуля приведена на рис. 11, из которого видно, что модуль имеет поистине огромный набор интерфейсов — SPI, UART, USB, ШИМ, программируемые линии ввода/вывода, что позволяет без труда интегрировать его практически в любое устройство и существенно упрощает разработку аппаратуры на его основе. Подводя итог сказанному, скажу, что, несмотря на наличие эффективной системы энергосбережения, все-таки этот модуль больше подходит для использования в стационарных устройствах, нежели в приборах с батарейным питанием.

Другая модель этого семейства ABM-200-2XXX запущена в массовое производство в декабре 2002 года. Этот модуль уже соответствует второму классу мощности по спецификации Bluetooth версии 1.1. Области применения этого модуля дополняются мобильными телефонами, телефонными гарнитурами, цифровыми камерами и принтерами. В остальном технические характеристики модуля соответствуют рассмотренному выше ABM-200-1XXX.

Модель ABM-300-2GSMB также соответствует второму классу мощности. Как можно догадаться из второй части названия модуля, основной областью его применения являются мобильные телефоны GSM и CDMA, подойдет он и для применения в гарнитурах и карманных компьютерах. Специфичная область его применения повлияла на размеры модуля (9,6×9,6×1,9 мм) и широкий диапазон напряжения питания 2,2–4,2 В. Структурная схема модуля приведена на рис. 12. Наличие интерфейсов и периферии оптимизировано для применения его в мобильных телефонах: для связи с GSM/CDMA-процессором предусмотрены последовательные интерфейсы UART и SPI, а также программируемые линии

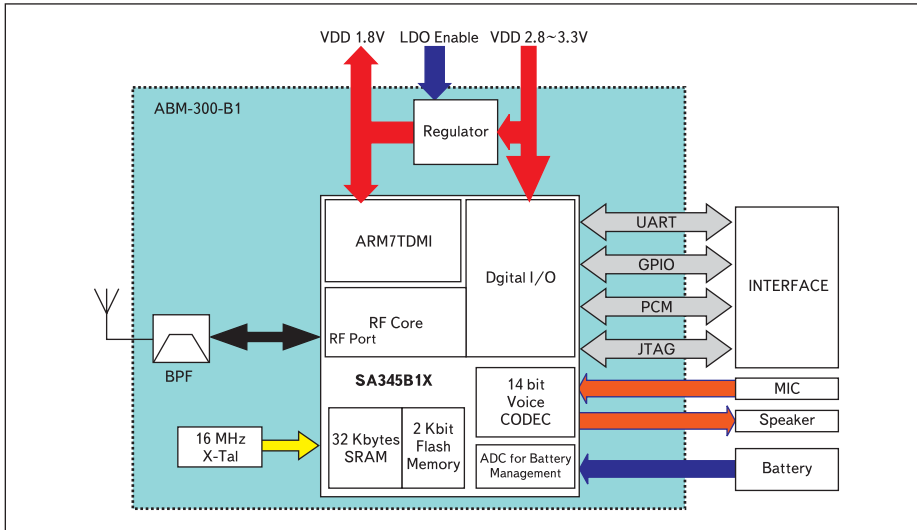


Рис. 13

I/O, имеется встроенный 15-битный линейный звуковой кодек, к которому подключаются микрофон и динамик. Отличительной особенностью модуля является необходимость установки внешнего кварцевого резонатора частотой 16 МГц. Для этих целей можно воспользоваться другим источником тактовых импульсов, присутствующим в телефоне.

Модуль ABM-300-B1 разрабатывался специально для использования в беспроводных гарнитурах, в том числе автомобильных, а также в Bluetooth-адаптерах, например для принтеров. Эта модель соответствует классу 2 по выходной мощности +4 дБм. Производство модуля начато в 2004 году. Интересной особенностью устройства является наличие возможности использования как внутреннего стабилизатора 1,8 В, так и внешнего, выбор осуществляется высоким/низким уровнем на входе LDO Enable (рис. 13). Другой особенностью можно считать наличие интерфейса JTAG. Удобство использования в классах приборов, перечисленных выше, достигается благодаря наличию встроенного речевого кодека с разрешением 14 бит, а также внутреннего АЦП, позволяющего вести мониторинг и контроль за состоянием питающей батареи.

Упрощенным вариантом рассмотренного модуля можно считать модель ABM-300TMA-2XXX, массовое производство которой началось в августе 2003 года. Этот модуль имеет широкий диапазон напряжения питания 2,2–4,2 В, соответствует классу 2. В модуле отсутствует интерфейс JTAG, а также цепи контроля аккумуляторной батареи, отсутствует возможность выбора внешнего или внутреннего стабилизатора напряжения на 1,8 В, в остальном эта модель аналогична предыдущей. Сферы применения этого модуля в сравнении с предыдущим расширяются, позволяя с успехом использовать его в ноутбуках и настольных ПК, в мобильных телефонах и КПК, в цифровых камерах и принтерах, в системах автоматизации домов и промышленных приложениях.

С октября 2004 года выпускается модуль ABM-300TMB-2XXX-XX, соответствующий спецификации Bluetooth v1.2 (класс 2). Он отличается широким диапазоном допустимого напряжения питания (2,8–3,6 В) и расширенным диапазоном рабочих температур (-20...+70 °С). Как и рассмотренные в начале модули фирмы AirLogic, эта модель отличается широким набором интерфейсов связи: SPI, UART, ШИМ, USB, настраиваемые I/O-выводы. Такое сочетание характеристик делает незаменимыми применение таких модулей в ноутбуках, настольных компьютерах, а также КПК. Удобен он для использования и в беспроводных гарнитурах, цифровых камерах и принтерах, а широкий диапазон рабочих температур и малые габариты, всего 10,5×10,5×1,9 мм, обеспечили применение этого модуля в системах промышленной автоматизации.

И, наконец, последний модуль AirLogic, который мы рассмотрим, это ABM-450-2CSP, серийный выпуск которого начался в декабре 2004 года. Ключевой особенностью этой модели является то, что он оптимизирован для применения в мобильных устройствах:

карманных компьютерах, мобильных телефонах CDMA, W-CDMA и GSM. Оптимизация коснулась размеров модуля (8×8×1,7 мм) и потребляемой мощности. Широкий диапазон допустимого напряжения питания 1,8–3,6 В позволяет без проблем интегрировать модуль в устройства с батарейным питанием. Модуль имеет встроенную EEPROM, в которой можно сохранять конфигурационные настройки и другую информацию.

Другой известной фирмой, производящей Bluetooth-модули, является AvantWave (<http://www.avantwave.com>). Компания AvantWave была учреждена в Гонконге в 2000 году и, по ее словам, является мировым лидером в разработке и поставке современных решений Bluetooth, с 2000 года является членом Bluetooth SIG. AvantWave предлагает четыре серии модулей и оценочный набор, приобретение которого поможет в кратчайшие сроки и с минимальными затратами выпустить новое изделие на рынок.

Модули Bluetooth серии 100 соответствуют классу 1 по дальности действия. Устройства этой серии предназначены для работы на коротких дистанциях, являются компактным и недорогим решением в таких устройствах, как точки доступа, телефонные шлюзы, адаптеры последовательных портов и т. д. Примером модуля этой серии может служить BTR140 (рис. 14 и рис. 15).

Серия 200 имеет встроенную антенну и отличается малыми габаритами, что позволяет без особых трудностей использовать его в раз-



Рис. 14

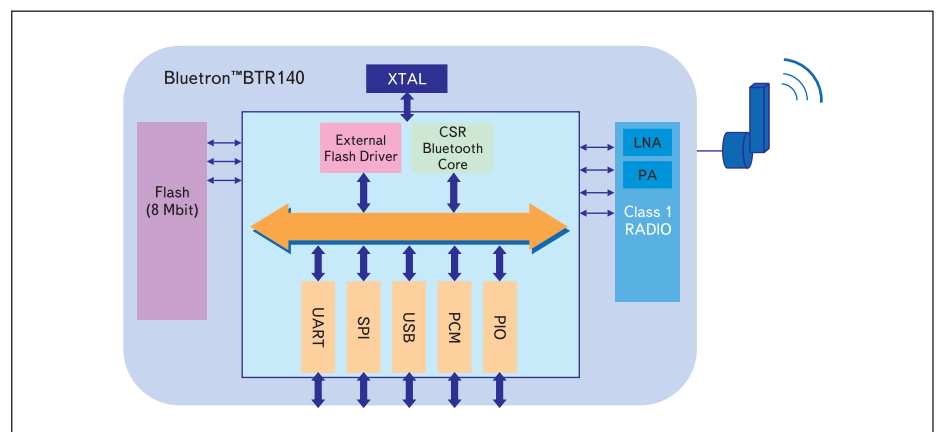


Рис. 15



личных гарнитурах, а серия 300 оптимизирована для использования в мобильных телефонах и автомобильных телефонных гарнитурах. Уникальность модулей серии 400 заключается в том, что они обеспечивают возможность реализации на их основе стереофонических гарнитур. Программное обеспечение снабжено библиотеками обработки звука, используя которые, можно, например, воспользоваться функцией удаления эффекта эха.

Еще одним небезызвестным производителем Bluetooth-модулей является тайваньская корпорация C-Com, основанная в 1988 году и известная как поставщик аппаратуры для широкополосных коммуникаций. C-Com предлагает универсальные модули средних (до 35,0×13,0×2,5 мм) и малых размеров (14,5×10,35×2,2 мм). Некоторые из модулей имеют встроенный звуковой кодек, облегчающий реализацию на их базе телефонных гарнитур.

Еще одним разработчиком и производителем устройств Bluetooth является канадская фирма Gennum (<http://www.gennum.com>). Среди сфер ее деятельности не только производство модулей, но и разработка и производство интегральных микросхем. Компания имеет международные сертификаты качества производства. Она предлагает миниатюрные качественные модули, как с интегрированной антенной, так и без нее. Все устройства имеют встроенную флэш-память объемом 8 Мбит.

Тайваньская фирма Microlink (<http://www.microlinkcomm.com/>) была основана в октябре 2002 года. В настоящее время основной деятельностью фирмы является осуществление разработки и производства устройств Bluetooth и WLAN. Большая часть поставляемых Microlink модулей рассчитана на работу в ближнем диапазоне 10–20 м, некоторые из модулей имеют USB-интерфейс.

Компания Mitsumi, думаю, в представлении не нуждается. Наиболее массовыми Bluetooth-модулями ее производства являются WML-C09 и WML-C10, относящиеся по радиусу действия ко второму классу. Модули производятся с 2002 года и предназначены, в основном, для использования в цифровых камерах, периферии для ПК и карманных компьютерах. Имеются варианты как со встроенной антенной, так и без нее. Для запитки устройств требуется два напряжения питания: 1,8 В и 3,3 В. Широкий диапазон рабочих температур (–40...+85 °С), малые габариты (11,8×12,6×1,9 мм) и износоустойчивая экранированная конструкция делают удобным использование этих модулей в промышленности и в сложных условиях эксплуатации.

Bluetooth-модули производства фирмы Philips — одни из самых миниатюрных. Они производятся по технологии System-On-Package и имеют износоустойчивый дизайн. Высокое качество конструктивных решений этой фирмы и постоянный контроль качества на каждом этапе технологического процесса

обеспечивает высокую надежность этих модулей. Вкупе с широким диапазоном рабочих температур –40...+85 °С это делает модули Philips незаменимыми в производстве аппаратуры для сложных условий эксплуатации и приложениях, требующих высокой долговременной надежности.

Хорошим набором характеристик обладают и модули фирмы BlueGiga, что уже обеспечило их популярность на российском рынке. В рамках нашего обзора мы не будем их рассматривать, поскольку в соответствующей литературе Bluetooth-модули этой фирмы освещены довольно подробно [1, 2, 3].

И в завершение нашего обзора нельзя не сказать о модулях компании Mitsumi, не нуждающейся в представлении как российскому инженеру, так и потребителю готовой продукции. Эти Bluetooth-модули также хорошо освещены в отечественных печатных изданиях, например в обзоре [3].

### Микросхемы и модули контроллеров, поддерживающие логические протоколы высокого уровня

На данный момент серийно выпускается лишь одна микросхема, поддерживающая протокол высокого уровня — это чип LMX9820 фирмы National Semiconductors, модули же представлены довольно широко, например это продукция фирм Multi-Tech, Amber Wireless и др. Следует также отметить, что активность в области разработки модулей данного класса проявляют и российские разработчики. В частности, это подразделение фирмы Альтоника, выпускающее Bluetooth-модули семейства OSA классов мощности I и II. Типовая блок-схема и внешний вид (в OEM-исполнении) таких модулей аналогичны изображенному ранее, различие состоит лишь в программе, хранящейся либо во флэш-памяти модуля, либо в дополнительном внешнем контроллере. Поскольку микросхема контроллера LMX9820 активно

используется самыми различными производителями Bluetooth-модулей, рассмотрим ее немного подробнее.

### LMX9820 — Bluetooth-контроллер последовательного порта (SPP-профиль)

Микросхема последовательного порта на базе технологии Bluetooth LMX9820 фирмы National Semiconductor представляет собой СБИС, состоящую из трансивера, контроллера и программной памяти, объединенных на подложке из LTCC-керамики (Low Temperature Co-fired Ceramic). ИС содержит практически все необходимое аппаратное и программное обеспечение, включая его верхние уровни, такие как профили Generic Access Profile (GAP), Service Discovery Application Profile (SDAP) и Serial Port Profile (SPP), кроме этого, обладает конфигурируемой базой данных, позволяющей реализовывать и другие профили Bluetooth в управляющем контроллере. Микросхема LMX9820 построена на 16-битном ядре CompactRISC™ фирмы National Semiconductor® с применением технологии Digital Smart Radio, ее программное обеспечение представляет собой полный Bluetooth стек версии стандарта v1.1, включая профили и командный интерпретатор. ИС обеспечивает соединения типа «точка-точка» и «точка-мультиточка» и поддерживает передачу данных на скорости до 704 кбит/с по протоколу RFCOMM. Одновременно поддерживается до трех активных Bluetooth-соединений. Структурная схема контроллера LMX9820 приведена на рис. 16, а ниже приведен обзор ключевых параметров микросхемы.

#### Аппаратная часть

- Контроллеры физического уровня (Baseband) и соединений (Link Management).
- Ядро CompactRISC.
- Встроенная память:
  - Flash-ПЗУ;
  - ОЗУ.
- Порт команд/данных UART:
  - поддержка скоростей передачи данных до 921,6 кбит/с.

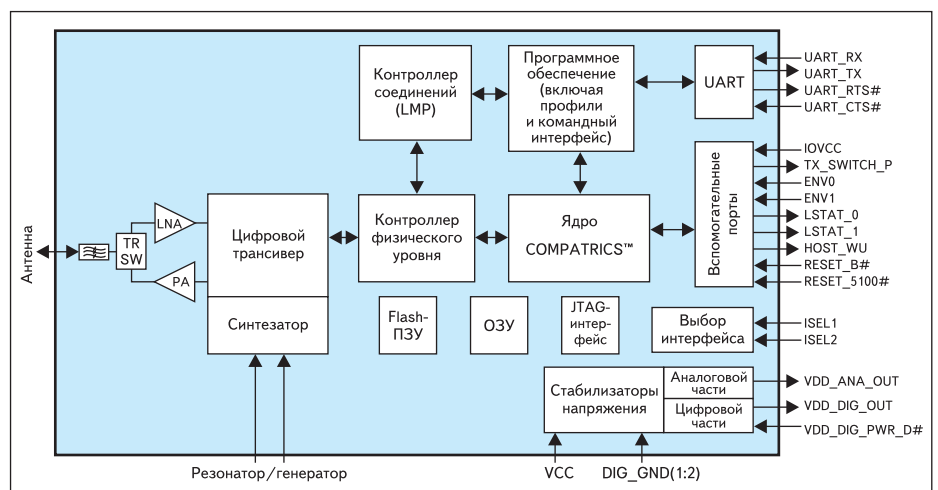


Рис. 16

Таблица 2. Сравнительные характеристики некоторых Bluetooth-модулей с поддержкой протоколов верхнего уровня

Название	ROK 104001	OSA-24	OSA-104	LMX9820	MTS2BTSMI	BlueNiceCom I	BlueNiceCom II
Производитель	Infineon	Альфоника	Альфоника	National Semiconductor	MultiTech	Amber Wireless	Amber Wireless
Класс мощности	II	II	I	II	I	II	II
Выходная мощность, тип./макс., дБм	+1,5/+4	Не указано	Не указано	+1/+4	Не указано	Не указано	Не указано
Чувствительность приемника, тип. дБм	-80	-80	-80	-77	Не указано	-77	-82
Интерфейсы	USB, UART, PCM, GPIO	UART	UART	UART	UART	RS232	UART
Макс. скорость обмена по UART	Не указано	115200	115200	921600	921600	115200	921600
Поддерживаемые профили (кроме GAP и SDP)	SPP	SPP,DUN	SPP,DUN	SPP	Не указано	SPP	SPP
Корпус (способ подключения)	87-выводной LGA	8-выводной PLS	8-выводной PLS	116-выводной BGA	38-выводной DIP	Не указано	Не указано
Габаритные размеры, мм (Д×Ш×В)	15,5×10,5×2,1	30×19×5	30×19×5	10×14×1,9	64,5×26,5×17	55,5×29,0×14,5	27,5×26,5×16
Диапазон питающих напряжений, В	2,8–6,5	3,0–3,6	3,0–3,6	2,25–3,6	Не указано	3,5–7	2,7–3,6
Потребляемый ток, мА	Не указано	52	60	62	45	80	65
Температурный диапазон	-20...+75	-25...+80	-25...+80	-40...+85	-40...+70	-30...+85	-30...+85
Наличие встроенной антенны	Нет	Да	Да	Нет	Не указано	Нет	Нет
Поддержка соединений «точка-мультиточка»	Да	Не указано	Не указано	Да	Не указано	Не указано	Не указано
Примечания	На базе PBM99080	На базе модуля KINGENE MO-210	На базе модуля Global Sun Tech GL2BMU01	Отсутствует встроенный резонатор			На базе LMX9820
Внешний вид	а	б	в	г	д	е	ж



- Вспомогательные интерфейсные порты:
  - статус соединения;
  - статус трансивера (прием/передача);
  - контроль режима работы:
    - режим Bluetooth (по умолчанию);
    - режим внутрисхемного программирования (ISP).
- Функции управления энергопотреблением Advanced Power Management (APM).

**Программная часть**

- Полный программный стек Bluetooth, включающий:
  - управление физическим уровнем (Baseband Manager) и соединениями (Link Manager);
  - протоколы L2CAP, RFCOMM, SDP;
  - профили:
    - GAP;
    - SDAP;
    - SPP.
- Поддержка дополнительных профилей на управляющем (Host) процессоре:
  - Dial Up Networking (DUN);
  - Facsimile Profile (FAX);
  - File Transfer Protocol (FTP);
  - Object Push Profile (OPP);
  - Synchronization Profile (SYNC).
- Встроенные программные возможности:
  - командный интерфейс:
    - установление соединения и управление им (включая многоточечное);
    - конфигурация модуля;
    - внутрисхемное программирование;
    - модификация базы данных поддерживаемых сервисов;
    - соединения по умолчанию;
    - режим «прозрачного» UART;
  - различные режимы функционирования:
    - автоматический режим;
    - командный режим.

**Цифровой трансивер**

- Допускает тактирование от внешнего резонатора или генератора:
  - частота 12 МГц;
  - суммарная погрешность не более 20 ppm для соблюдения требований стандарта Bluetooth.
- Синтезатор:
  - интегрированный ГУН (VCO) и петлевой фильтр;
  - обеспечивает необходимые тактовые сигналы для трансивера и контроллеров.
- Антенный вывод (номинальный импеданс 50 Ом):
  - встроенные фильтры обеспечивают оптимальные характеристики по излучению вне рабочей полосы частот.
- Встроенный ключ переключения прием/передача (полнодуплексный режим работы на антенном выводе).
- Встроенные контуры согласования.
- Чувствительность по входу более -77 дБм.
- Типовая выходная мощность 0 дБм.

Стандартом де-факто является поддержка компонентами данного класса профиля SPP, состоящего из логических протоколов верхнего уровня RFCOMM и SDP. Кроме этого, для служебных целей используются профили GAP и SDAP, поддерживаемые всеми устройствами класса. Существуют также устройства с поддержкой других профилей, например DNP (Dial-up Networking Profile), LAP (LAN-Access Profile) и т.д., но они не получили широкого распространения на российском рынке. В большинстве случаев использование профиля SPP позволяет использовать Bluetooth-модули для замены существующих проводных соединений по последовательному каналу (Serial Cable Replacement) с минимумом программных доработок, а иногда и вообще без них. В качестве недостатков это-

го класса устройств следует упомянуть их высокую стоимость и плохую взаимозаменяемость (как правило, пользовательский интерфейс построен наподобие AT-команд, однако он не имеет общепринятых стандартов). Если второй недостаток не является критичным, то высокая цена таких модулей (от нескольких десятков долларов США за устройства в OEM-исполнении до нескольких сотен за функционально законченные адаптеры) редко позволяет использовать их в крупном и даже среднесерийном производстве. На данный момент имеет смысл рекомендовать их использование лишь для мелкосерийной продукции. Впрочем, ситуация изменяется довольно быстро и многие ведущие фирмы в последнее время обратили свое внимание на поддержку своими Bluetooth-модулями логических протоколов высокого уровня, в связи с чем можно прогнозировать снижение цены таких модулей. К примеру, фирма Infineon уже поставляет модуль ROK101004 в двух вариантах — с HCI-уровнем и с поддержкой SPP-профиля. Фирма National Semiconductor анонсировала семейство Simply Blue, первый представитель которого LMX9830 скоро должен появиться в продаже. Впрочем, до «магической» цифры в \$5 (начиная с которой, по мнению многих аналитиков, начнется настоящий бум Bluetooth-технологии), пока еще довольно далеко. Сравнительные характеристики некоторых типов Bluetooth-модулей с поддержкой протоколов верхнего уровня, доступных на отечественном рынке, приведены в таблице 2, откуда видно, что модули существенно различаются между собой по скорости передачи данных по UART, габаритным размерам и способу монтажа. Кроме указанных в таблице 2 интерфейсов, большинство модулей имеет дополнительные выводы для индикации статуса соединения.

## Аксессуары и программное обеспечение для Bluetooth-модулей

Как уже было сказано выше, Bluetooth-модули содержат практически все необходимые для работы компоненты. Единственный внешний элемент, который используется совместно с Bluetooth-модулями — это антенна (ряд модулей не имеет интегрированной антенны). Учитывая высокую рабочую частоту, в качестве антенны можно использовать обычный проводник соответствующей длины. В случаях, когда такой вариант неприемлем, используются готовые антенны, как правило, в SMD-исполнении, либо модуль снабжается высокочастотным гнездом для подключения внешней антенны. На отечественном рынке доступна продукция фирм Epcos (модель B69780T2457A000) и Murata (серия ANCW). Учитывая низкий коэффициент усиления таких антенн, который обычно не превышает 0 дБ, их повсеместное использование не имеет смысла, а в качестве «показаний к применению» можно, пожалуй, назвать экстремально суровые требования к размерам устройства. Также в продаже доступны внешние антенны с высоким усилением (10–20 дБ), но их габариты и цена (несколько десятков долларов) позволяют их использовать далеко не во всех устройствах.

Ряд фирм предлагает готовые программные Bluetooth-стеки. Например, это AVE-Blue

Таблица 3. Рекомендации по выбору Bluetooth-компонентов

Тип Bluetooth-компонентов	Однокристальные Bluetooth-контроллеры	Bluetooth-модули	Bluetooth-модули с поддержкой высокоскоростных протоколов
Для каких объемов продукции рекомендуется	Большие (>10 000)	Средние (1–10 000)	Малые (<1000)
Достоинства	Гибкость в разводке платы и компоновке элементов, низкая цена	Хорошая взаимозаменяемость, невысокая цена, нет или мало внешних элементов	Нет или мало внешних элементов, не требует доп. затрат на программный стек
Недостатки	Сравнительно большое число внешних элементов, плохая взаимозаменяемость, необходимость написания или покупки программного стека	Необходимость написания или покупки программного стека	Высокая цена, довольно плохая взаимозаменяемость

фирмы Access для работы с чипами семейства BlueCore фирмы CSR, C-Blue фирмы Adama, поддерживающий множество различных чипсетов ведущих производителей, и многие другие. Нередко программные стеки предлагаются самими производителями микросхем-контроллеров. Например, для своего семейства SiW3x00 фирма RF Micro Devices предлагает программный стек UltimateBlue, развивает данное направление и фирма CSR. Чаще всего в стеках реализованы все существующие в стандарте Bluetooth профили, что, разумеется, не обязывает разработчика применять их все в своем устройстве. Стоимость этих продуктов весьма высока (от нескольких тысяч долларов США), поэтому их использование оправданно либо при выпуске крупносерийной и массовой продукции, либо в тех случаях, когда необходима реализация в модулях профилей, отличных от SPP.

Резюмируя все вышесказанное, сведем рекомендации по выбору Bluetooth-компонен-

тов в зависимости от предполагаемых объемов производства в таблицу 3.

Итак, подводя итог приведенной информации, мы надеемся, что сумели хотя бы частично как-то систематизировать информацию о поставляемых решениях для Bluetooth и помогли вам, уважаемый читатель, сориентироваться среди такой обширной информации.

## Литература

1. Алексеев В. Проектирование Bluetooth-устройств с использованием модулей BlueGiga // Беспроводные технологии. 2005. № 1. С. 32.
2. Алексеев В. Готовые модули Bluetooth фирмы BlueGiga для системных интеграторов телеметрического оборудования // Компоненты и технологии. 2004. № 7. С. 78.
3. Агафонов Н. OEM-модули Bluetooth на российском рынке // Современная электроника. № 1. 2005.