

# Разработка приложений

## для передачи сигналов звукового диапазона частот с помощью Bluetooth-модуля WT32 от компании Bluegiga

**В статье рассматриваются возможности перспективного Bluetooth-радиомодуля WT32, поддерживающего профили передачи речи и аудиоданных. Описываются тонкости подключения и настройки этого устройства для организации связи по радиоканалу. Рассматриваются различные области применения данного модуля и даются практические рекомендации по выбору элементной базы.**

**Алексей Аникин**  
Anikin.A@mtgroup.ru.

**В**ажность информации, передаваемой между собеседниками посредством речевого общения, трудно переоценить. Вербальное восприятие занимает одно из ведущих мест после зрительного [1].

В процессе создания и совершенствования телекоммуникационных систем основные усилия разработчиков всегда направлялись прежде всего на возможность передачи речи. С большой вероятностью можно утверждать, что телекоммуникационные системы речевого общения всегда были, есть и будут востребованы в человеческом обществе.

В настоящее время существует множество примеров, когда управление различными электронными устройствами осуществляется путем подачи голосовых команд. Такое управление является одним из наиболее естественных, удобных и энергетически эффективных способов. Пользователь, подающий голосовую команду, не должен совершать дополнительных перемещений в пространстве, манипулировать различными органами управления и выполнять другие действия, отвлекающие его внимание и занимающие драгоценное время.

Существует множество приложений, когда устройства беспроводной передачи речи могут использоваться для трансляции сигналов не звуковой природы, спектр которых лежит в звуковом диапазоне частот. Типичный пример — передача электрокардиосигнала или некоторых других физиологических сигналов живых организмов по радиоканалу.

Средства голосовой связи постоянно развиваются и совершенствуются. Передача речи по радиоканалу на данный момент является одной из самых перспективных и востребованных по вполне очевидным причинам (отсутствие необходимости протягивать провода, мобильность и др.). При разработке новых телекоммуникационных радиоприборов массового потребления упор делается на снижение стоимости конечного изделия,

уменьшение габаритов, повышение степени автономности (снижение энергопотребления, увеличение радиуса действия), повышение качества передачи речи, увеличение степени интеграции. Устройства стандарта Bluetooth, поддерживающие обмен речевыми данными по радиоканалу, на данный момент являются одними из самых совершенных, в которых разработчикам удалось достичь компромисса между перечисленными ранее параметрами. Такие устройства отличаются невысокой стоимостью, малым весом, весьма компактными размерами и высочайшим на данный момент качеством передачи речи по радиоканалу. Они предоставляют своему пользователю относительную свободу перемещения в пространстве и способны работать в автономном режиме (питаются от батарейки) от нескольких часов до нескольких суток.

Изначально технология Bluetooth создавалась с целью объединить между собой различные офисные и бытовые устройства без использования проводов [2]. Поскольку существует множество разновидностей таких устройств, то для организации правильного взаимодействия между ними потребовалось создание специальных профилей. Иными словами, профиль — это набор правил, по которым два Bluetooth-устройства одинакового назначения взаимодействуют друг с другом в рамках одной пико-сети (от термина *pico-net*, используемого при рассмотрении технологии Bluetooth [2]). Особенностью пико-сетей является то, что в них обязательно один узел ведет себя как ведущий, управляя нагрузкой в сети. В качестве ведущего обычно выступают ноутбук, КПК, сотовый телефон, MP3-плеер и др. Остальные узлы пико-сети ведомые. К ним обычно относятся беспроводные Bluetooth-наушники, головные телефоны и гарнитуры различного вида, способные передавать и принимать речевые данные.

Устройства Bluetooth в пико-сети синхронизируют свою работу в соответствии с генератором

такта ведущей единицы. Причем организация связи между Bluetooth-устройствами, выбор временных интервалов и частот для обмена данными происходят автоматически, без участия пользователя. От пользователя требуется только сформировать данные для передачи или обработать полученные.

В рамках данной статьи нас будет интересовать не готовое устройство Bluetooth для обмена речевыми данными, а модуль, на основе которого можно провести разработку и изготовление такого устройства. Под модулем будем понимать радиотехническое изделие, содержащее в себе все необходимые элементы (ВЧ-компоненты, микроконтроллер, аудиокодек, программное обеспечение), обеспечивающие работоспособность протоколов Bluetooth, но предназначенное для функционирования в составе более сложного устройства. Чтобы превратить модуль в конечное изделие, как правило, необходимо подключить к нему ряд дополнительных компонентов: источник питания, антенну (для модулей без встроенной антенны), микрофон, динамик, фильтрующие элементы цепей питания, органы управления и индикации (кнопки и светодиоды) и т. д. В ряде случаев законченное Bluetooth-устройство помещается в отдельный корпус.

Рассмотрим модуль WT32 (рис. 1) производства компании Bluegiga [3]. Он представляет наибольший интерес среди всех аналогов в силу своих примечательных свойств, к которым относятся простота монтажа и низкая стоимость, что благоприятствует использованию данного модуля в коммерческих приложениях.



Рис. 1. Внешний вид модуля WT32

Модуль принадлежит ко второму классу Bluetooth-спецификации 2.1 и предназначен для передачи данных на расстояния 15–20 м. Размер модуля весьма компактен, что позволяет его встраивать внутрь мобильных малогабаритных устройств. Структурная схема изделия представлена на рис. 2. WT32 разработан на базе современного чипсета CSR BlueCore05-MM. В модуле присутствует набор интерфейсов: аудио для прямого подключения микрофона и динамиков; PCM/I<sup>2</sup>S/SPDIF для подключения внешнего аудиокодека; последовательный UART и USB для обмена данными с внешними устройствами; SPI для настройки и конфигурирования внутренних параметров WT32. Также присутствует набор дополнительных программируемых входов/выходов PIO для подключения внешних цифровых и аналоговых датчиков.

Из интересных особенностей модуля можно отметить встроенный контроллер заряда аккумулятора. Он позволяет использовать зарядное устройство и защищает аккумулятор от перезар-

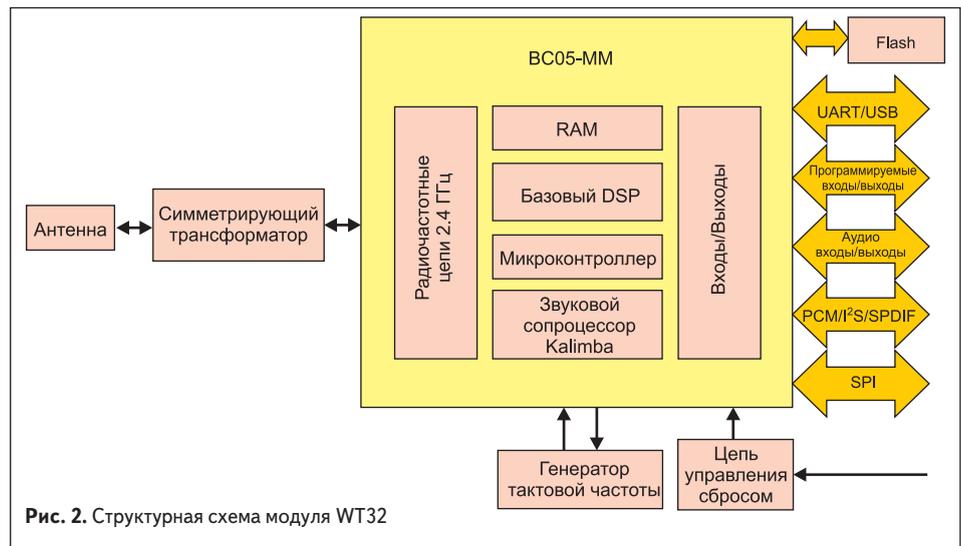


Рис. 2. Структурная схема модуля WT32

ряда или перезарядка с целью предотвращения его выхода из строя. Но главной отличительной чертой WT32 является встроенный аудиокодек и звуковой сопроцессор Kalimba DSP, выполняющий фильтрацию аудиоданных с целью снижения уровня шума и повышения качества передачи звука.

Надежная схема кодирования речи, используемая в WT32, основывается на дельта-модуляции с переменной крутизной (Continuous Variable Slope Delta, CVSD). Технология CVSD первоначально разрабатывалась для применения военными ведомствами, но в последнее время нашла применение и на коммерческом рынке. Технология подразумевает передачу не всей последовательности дискретных отсчетов речевого сигнала, а только разности между амплитудами соседних отсчетов. Причем частота дискретизации выбирается таким образом, чтобы разность амплитуд двух соседних отсчетов могла быть представлена одним битом (1 — амплитуда

увеличивается, 0 — амплитуда уменьшается). Такая схема кодирования отличается высокой экономичностью и позволяет вводить в передаваемое сообщение избыточность для алгоритма упреждающей коррекции ошибок FEC (Forward Error Correction). Поэтому в пакетах HV не производится контроль ошибок циклическим кодом CRC (Cyclical Redundancy Check), и данные никогда не передаются повторно, что важно для сохранения качества трансляции речи.

Еще одним преимуществом модуля WT32 перед аналогичными изделиями конкурирующих фирм является встроенный стек протоколов оригинальной разработки компании Bluegiga. Стек представляет собой программное обеспечение верхнего уровня и носит название iWRAP [4] (рис. 3).

Он используется для управления и настройки всех протоколов и функций более низкого уровня посредством специального командного

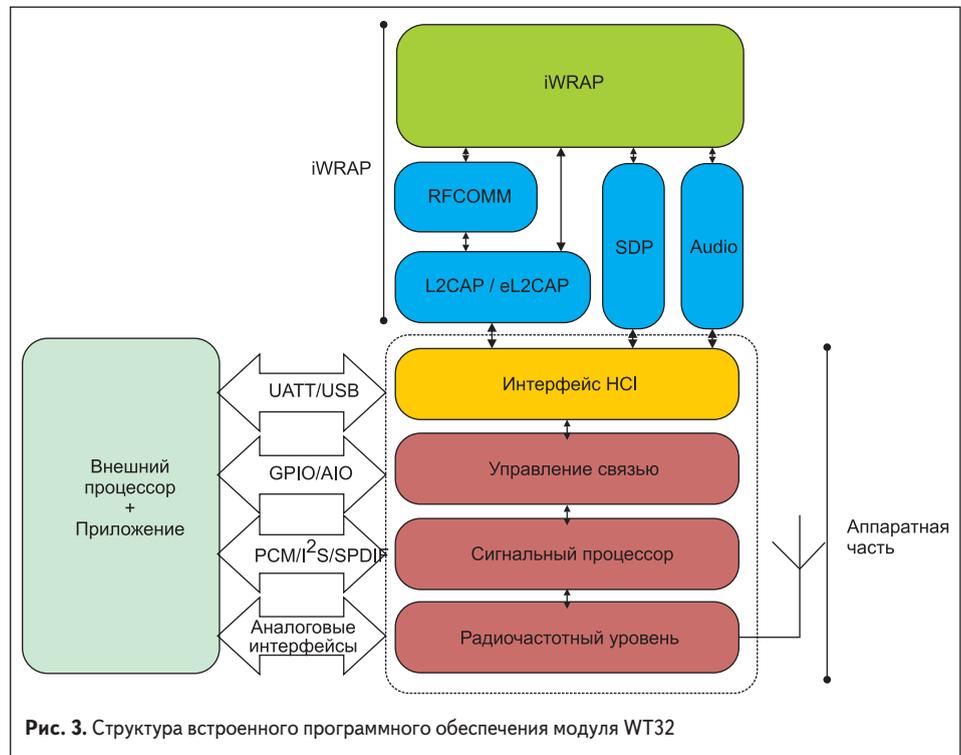


Рис. 3. Структура встроенного программного обеспечения модуля WT32

интерфейса, состоящего из набора текстовых ASCII-команд. Перечень команд весьма велик, поэтому не может быть подробно рассмотрен в рамках одной статьи. Далее будут описаны только команды и настройки модуля WT32, относящиеся к передаче аудио.

Модуль поддерживает самый распространенный профиль передачи речи — профиль беспроводной гарнитуры HFP (Hands Free Profile). HFP определяет способ, посредством которого Bluetooth обеспечивает беспроводное соединение некоторого устройства с гарнитурой, оснащенной динамиками и, возможно, микрофоном. Так как этот профиль рассчитан на поддержку связи не только с мобильными телефонами, но и с ПК, MP3-плеерами и другими устройствами, он до сих пор остается единственным профилем, где используются команды AT, первоначально разработанные для управления модемами. Полный перечень AT-команд описывается спецификацией GSM 07.07.

Профиль беспроводной гарнитуры основывается на базовом протоколе Bluetooth Voice Audio, использующем синхронное соединение SCO (Synchronous Connection Oriented). Синхронная линия связи поддерживает соединение типа «точка-точка» (point-to-point). Именно оно в данном случае употребляется для передачи речи высокого качества с использованием пакетов HV (High quality Voice). Стандарт Bluetooth поддерживает возможность передавать одновременно речь и данные с помощью пакетов DV (Data Voice).

Пропускной способности канала связи Bluetooth хватает, чтобы одновременно осуществить три речевых соединения SCO со скоростью передачи 64 кбит/сек. Эта возможность актуальна, когда в пределах одной области пространства канал связи вынуждены делить между собой несколько Bluetooth-устройств, осуществляющих одновременный обмен речевыми данными.

Максимальный звуковой поток, обеспечиваемый модулем WT32, составляет 20 кГц при точности оцифровки звука 15 бит. Таким образом, количество одновременно работающих Bluetooth-устройств в данном случае можно увеличить практически в два раза, что может быть важно для некоторых приложений.

В рамках HFP устройства разделяются на два вида: Audio Gateway, или HFP-AG (ведущее), и Audio Headset, или HFP-HS (ведомое). Выбор вида устройства, в качестве которого будет выступать конкретный модуль WT32, производится программно с помощью специального набора конфигурационных команд. Для удобства настройки своих модулей Bluegiga предоставляет специальную утилиту для ПК BGTerm (Bluegiga Terminal), типичный внешний вид рабочего окна которой представлен на рис. 4. BGTerm, по сути, является простой терминальной программой для работы с внешними устройствами, подключаемыми к персональному компьютеру через COM-порт.

Процесс подключения модуля WT32 к компьютеру достаточно тривиален. WT32 имеет последовательный интерфейс UART, который совместим по протоколу обмена данными с интерфейсом COM-порта компьютера. Главное — следует помнить, что уровень сигналов UART меньше, чем уровень сигналов COM-порта. Поэтому для обеспечения полной совместимости модуля с компьютером следует использовать специальный переходник UART-COM-порт либо отладочную плату для WT32, которая поставляется Bluegiga через официальных дистрибьюторов. Внешний вид отладочного набора приведен на рис. 5.

На данной отладочной плате уже имеются все необходимые компоненты для обеспечения взаимодействия модуля WT32 с внешними устройствами, такими как персональный компьютер, микрофон, динамики и др.

После успешного соединения ПК с WT32 через утилиту BGTerm пользователь увидит в окне отображения текста (рис. 4) сообщение, содержащее информацию о версии стека iWRAP и о производителе. Например:

```
WRAP THOR AI (2.2.0 build 60)
Copyright (c) 2003-2006 Bluegiga Technology Inc.
READY.
```

Строка READY в конце сообщения означает, что модуль WT32 готов к принятию конфигурационных команд. Все конфигурационные команды вводятся в поле командной строки (рис. 4). Далее красным цветом будут выделяться команды, подаваемые пользователем в модуль WT32 через программу BGTerm, а синим — ответные сообщения, отображающиеся в окне отображения текста программы (рис. 4). В случае необходимости в фигурных скобках будут приведены текстовые пояснения к передаваемым командам или ответным сообщениям.

Для задания модулю WT32 статуса HFP-AG необходимо ввести следующую последовательность команд:

```
SET PROFILE HFP-AG ON
SET BT CLASS 200408
RESET
```

Команда **RESET** выполняет перезагрузку модуля, после которой настройки вступают в силу.

Для конфигурирования модуля WT32 в качестве HFP-HS необходимо ввести следующую последовательность команд:

```
SET PROFILE HFP ON
SET BT CLASS 200408
RESET
```

Установление связи между двумя Bluetooth-устройствами с поддержкой профиля HFP возможно, только если эти устройства имеют разный статус: HFP-AG (ведущий) и HFP-HS (ведомый). Возможно также установление связи между одним устройством со статусом HFP-AG и несколькими устройствами со статусом HFP-HS.

Поддерживаемый профиль и статус удаленного устройства можно узнать с помощью команды **SDP {bd\_addr} {uuid}**. Здесь **bd\_addr** — адрес удаленного устройства, а **uuid** — универсальный уникальный

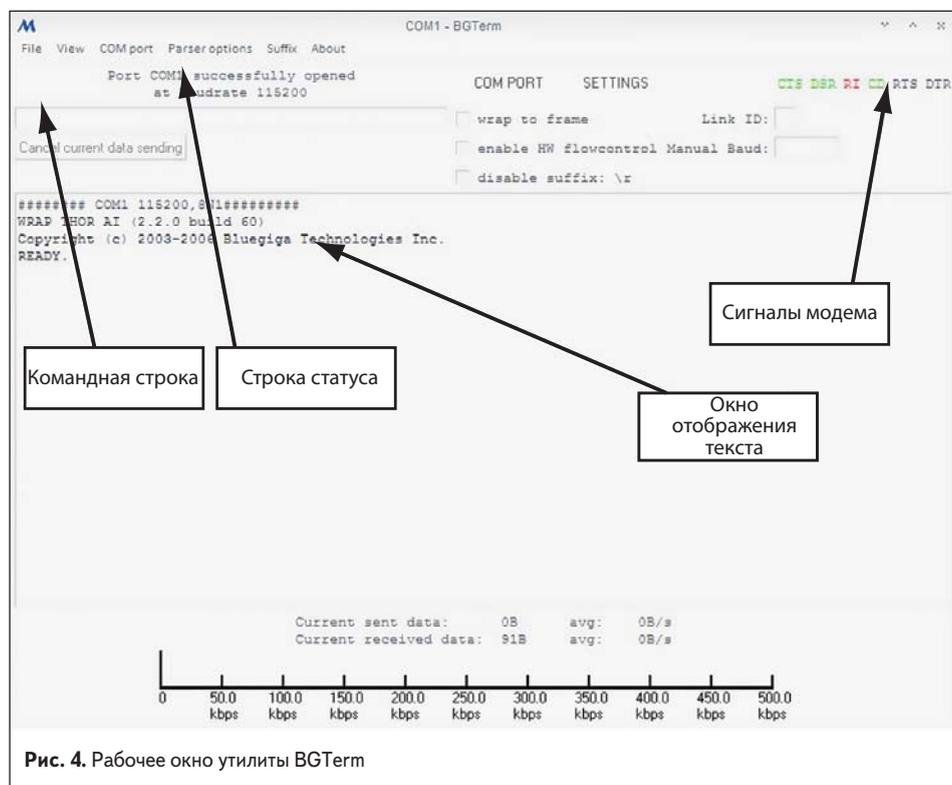


Рис. 4. Рабочее окно утилиты BGTerm



Рис. 5. Внешний вид отладочного набора для модуля WT32

идентификатор профиля. Для устройства HFP-AG параметр **uuid** = 111F, а для HFP-HS — **uuid** = 111E. Например, если модуль со статусом HFP-HS пытается соединиться с устройством HFP-AG, то протокол взаимодействия будет выглядеть следующим образом:

```
SDP 00:07:80:93:0c:aa 111F
SDP 00:07:80:93:0c:aa < I SERVICENAME S «HF Voice Gateway» >< I PROTOCOLDESCRIPTORLIST << U L2CAP >> < U RFCOMM I 03 >> >
SDP
```

Сообщение «HF Voice Gateway» означает, что удаленное устройство поддерживает профиль HFP и имеет статус HFP-AG. «03» — номер свободного для подключения канала RFCOMM. Аналогичная ситуация будет наблюдаться при попытке модуля со статусом HFP-AG узнать параметры удаленного модуля со статусом HFP-HS. Только вместо сообщения «HF Voice Gateway», как в предыдущем случае, будет получено сообщение «Hands Free».

Для установления связи между двумя модулями используются команды следующего вида: **CALL {bd\_addr} 111F HFP** (если инициатором соединения является устройство HFP-HS) и **CALL {bd\_addr} 111E HFP-AG** (если инициатором соединения является устройство HFP-AG). Здесь **bd\_addr** — адрес удаленного устройства, с которым устанавливается соединение. Например, если устройство HFP-HS пытается установить соединение с устройством HFP-AG с адресом **00:07:80:93:0c:aa**, то протокол обмена выглядит следующим образом:

```
CALL 00:07:80:93:0c:aa 111F HFP
CALL 0 {соединение устанавливается}
CONNECT 0 HFP 3 {соединение успешно установлено}
HFP 0 STATUS «service» 0
HFP 0 STATUS «call» 0
HFP 0 STATUS «callsetup» 0
HFP 0 STATUS «callheld» 0
HFP 0 STATUS «signal» 0
HFP 0 STATUS «roam» 0
HFP 0 STATUS «battchg» 5
HFP 0 READY {модуль готов к дальнейшей работе}
```

Параметр «0» обозначает номер соединения, а параметр «3» — номер канала RFCOMM, через который соединение происходит. Строки вида **HFP {link\_id} STATUS {status} {value}** отображают статус процесса соединения.

Если инициатором соединения является модуль со статусом HFP-AG, то при успешном установлении соединения устройство HFP-HS посылает ему уровень своей громкости с помощью команды вида **HPF {link\_id} VOLUME {level}**, где численный параметр **level** отображает уровень громкости.

После того как между модулями HFP-HS и HFP-AG установлено соединение, они могут совершать звуковой обмен. В данной ситуации возможно два сценария. Согласно первому устройству HFP-AG получает входящий телефонный вызов и инициирует звуковую связь с устройством HFP-HS. Модуль HFP-AG должен послать модулю HFP-HS запрос на установление звуковой связи с помощью команды **RING**. Например:

```
RING {запрос вызова}
CONNECT 1 SCO {установлено SCO-соединение}
HFP-AG 0 RINGING {устройство HFP-HS ответило на вызов}
HFP-AG 0 CONNECT {с устройством HFP-HS установлена звуковая связь}
```

Эта же ситуация на стороне устройства HFP-HS выглядит следующим образом:

```
HFP 0 STATUS «callsetup» 1 {параметр callsetup переведен в активное состояние}
HFP 0 RING {поступил вызов по соединению номер 0}
RING 1 00:07:80:93:0c:aa SCO {входящее SCO-соединение с порядковым номером 1}
ANSWER {ответить на вызов}
HFP 0 STATUS «call» 1 {параметр call переведен в активное состояние}
HFP 0 STATUS «callsetup» 0 {параметр callsetup переведен в неактивное состояние}
```

Согласно второму сценарию устройство HFP-HS инициирует звуковую связь с устройством HFP-AG. На стороне устройства HFP-HS происходит следующая последовательность действий:

```
ATD777; {набор номера 777}
HFP 0 OK {ответ от HFP-AG}
HFP 0 STATUS «callsetup» 2 {отображается изменение параметра callsetup}
RING 1 00:07:80:93:0c:aa SCO {входящее SCO-соединение с параметром link_id 1}
HFP 0 STATUS «callsetup» 3 {отображается изменение параметра callsetup}
HFP 0 STATUS «call» 1 {статус вызова переведен в активное состояние}
HFP 0 STATUS «callsetup» 0 {параметр callsetup переведен в неактивное состояние}
```

Устройство HFP-AG получает и генерирует следующую последовательность сообщений:

```
HFP-AG 0 DIAL NUM 777 {запрос на набор номера 777 от устройства HFP-HS}
CONNECT 1 SCO {индикатор SCO-соединения}
HFP-AG 0 CALLING {статус HFP-AG изменился}
CONNECT {команда для подтверждения соединения}
HFP-AG 0 CONNECT {статус HFP-AG изменился}
```

Остановимся более подробно на вопросе выбора подходящего микрофона и динамиков. Микрофоны бывают двух видов: конденсаторные и динамические [5]. Они отличаются друг от друга принципом действия и способом подключения. Поэтому выбор того или иного микрофона существенным образом повлияет на конструкцию конечного устройства для передачи речи через Bluetooth.

Конденсаторные микрофоны обладают весьма равномерной амплитудно-частотной характеристикой и обеспечивают высококачественное звучание, в связи с чем широко используются в студиях звукозаписи, на радио и телевидении. Их недостатки — высокая стоимость, необходимость во внешнем (фантомном) питании дополнительного звукового усилителя и высокая чувствительность к ударам и климатическим воздействиям (влажности воздуха и перепадам температуры), что не позволяет использовать их в полевых условиях. Поэтому применение данного типа микрофонов ограничено прежде всего профессиональными областями.

Динамический — наиболее распространенный тип конструкции микрофона. Он практически аналогичен по конструкции динамической головке (динамику, громкоговорителю), хотя и имеет ряд отличий: у него другая конструкция мембраны, катушка содержит большее количество витков и намотана более тонким проводом. В отличие от конденсаторных, динамические микрофоны не требуют фантомного питания.

Достаточно простая конструкция динамического микрофона обуславливает его относительную дешевизну, прочность и меньшую требовательность к условиям окружающей среды. Поэтому в большинстве любительских приложений передачи аудиоданных используются именно они. Таким образом, у разработчика Bluetooth-устройства по передаче речи на основе модуля WT32 есть выбор: использовать дешевые и не требующие дополнительного питания динамические микрофоны, но мириться при этом с невысоким качеством звука, либо использовать дорогостоящие и требующие подводки дополнительного питания конденсаторные микрофоны и получать высокое качество передаваемой речи.

Подключение динамического микрофона достаточно тривиально, поэтому рассмотрим более сложный вариант использования конденсаторного микрофона. В этом случае нам надо решить проблему фантомного питания. Его можно подавать двумя способами [5]: по отдельному проводу (несимметричная линия) и по тем же проводам, по которым передается звуковой сигнал (симметричная линия). Второй способ обычно применяется в профессиональной аппаратуре. Он позволяет, во-первых, коммутировать теми же проводами и динамические микрофоны, а во-вторых, повышает помехозащищенность провода. В симметричной линии звуковой сигнал передается по обоим проводам в противофазе, разъединяясь на выходе и складываясь на входе специальными усилителями (рис. 6а) или трансформаторами (рис. 6б). Применение симметричной линии

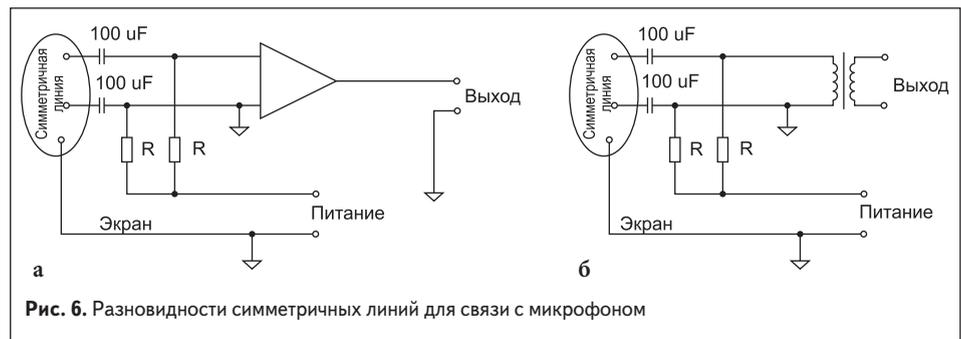


Рис. 6. Разновидности симметричных линий для связи с микрофоном

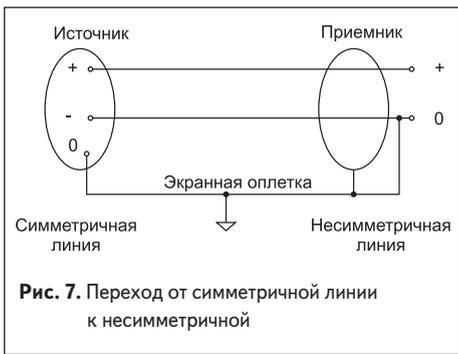


Рис. 7. Переход от симметричной линии к несимметричной

актуально, когда провод, соединяющий микрофон и звукообрабатывающий прибор, достаточно длинен и необходимо защитить передаваемый по нему сигнал от наводок.

Наличие в симметричной линии фантомного питания не мешает динамическим микрофонам. Наоборот, оно еще больше увеличивает помехозащищенность, подавляя помехи уровнем ниже напряжения питания. Таким образом, чтобы сделать модуль Bluetooth универсальным, способным работать как с динамическими, так и с конденсаторными микрофонами, следует выполнить проектирование специальной цепи питания, позволяющей подавать по одной паре проводов звуковой сигнал и напряжение питания.

В аппаратуре любительского уровня, где в силу конструктивных особенностей не требуется высокая помехозащищенность, чаще применяется первый способ подачи фантомного питания, то есть по одному проводу. Но в этом случае следует помнить, что подключение к такой линии динамического микрофона может привести к плачевным для него последствиям.

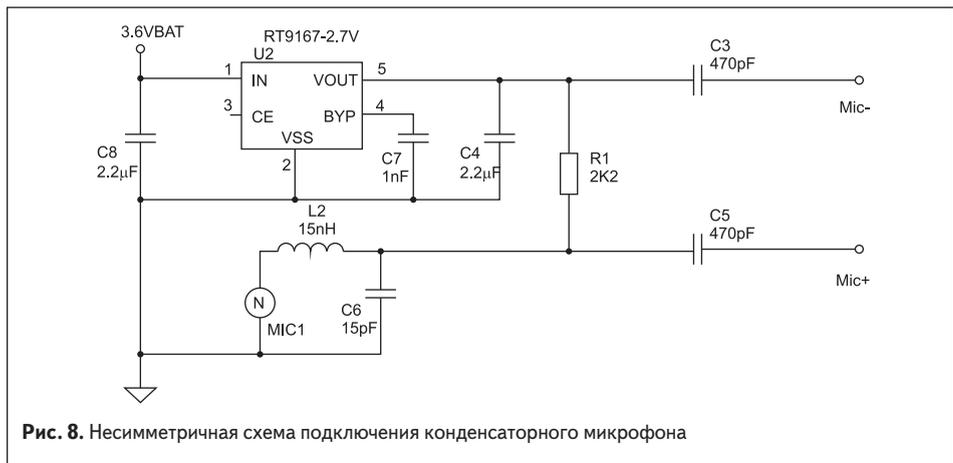


Рис. 8. Несимметричная схема подключения конденсаторного микрофона

Симметричную линию фантомного питания реализовать сложнее, чем несимметричную, поскольку для развязки сигнальной линии и питания необходимо применять трансформатор с соотношением числа витков первичной и вторичной обмоток от 1:7 до 1:10. Трансформатор может быть заменен операционным усилителем. Но все равно схема получается достаточно громоздкой для портативного устройства.

Существуют разновидности конденсаторных микрофонов, предназначенные для подключения как к симметричной, так и к несимметричной линии. Все зависит от типа предварительного усилителя звукового сигнала, вмонтированного в микрофон. Конденсаторные микрофоны, предназначенные для симметричного включения, могут быть подключены и несимметричным способом (но не наоборот). Для этого надо выполнить распылку проводов согласно рис. 7.

Простейший пример несимметричного включения конденсаторного микрофона приведен на рис. 8.

Подобная схема включения микрофона позволяет запитывать его от наиболее распространенного в промышленности напряжения в 3,6 В. Микросхема RT9167-2.7V выполняет преобразование напряжения 3,6 В в напряжение 2,7 В, от которого работает подавляющее большинство серийных конденсаторных микрофонов любительского уровня. Подачей положительного напряжения 3,3–3,6 В на вывод 3 данной микросхемы можно временно отключить питание микрофона.

Весьма интересным может быть применение модуля WT32 в медицинской технике любительского и профессионального уровня для передачи по радиоканалу различных физиологических сигналов организма человека. Как известно [6], полоса частот кардиосигнала

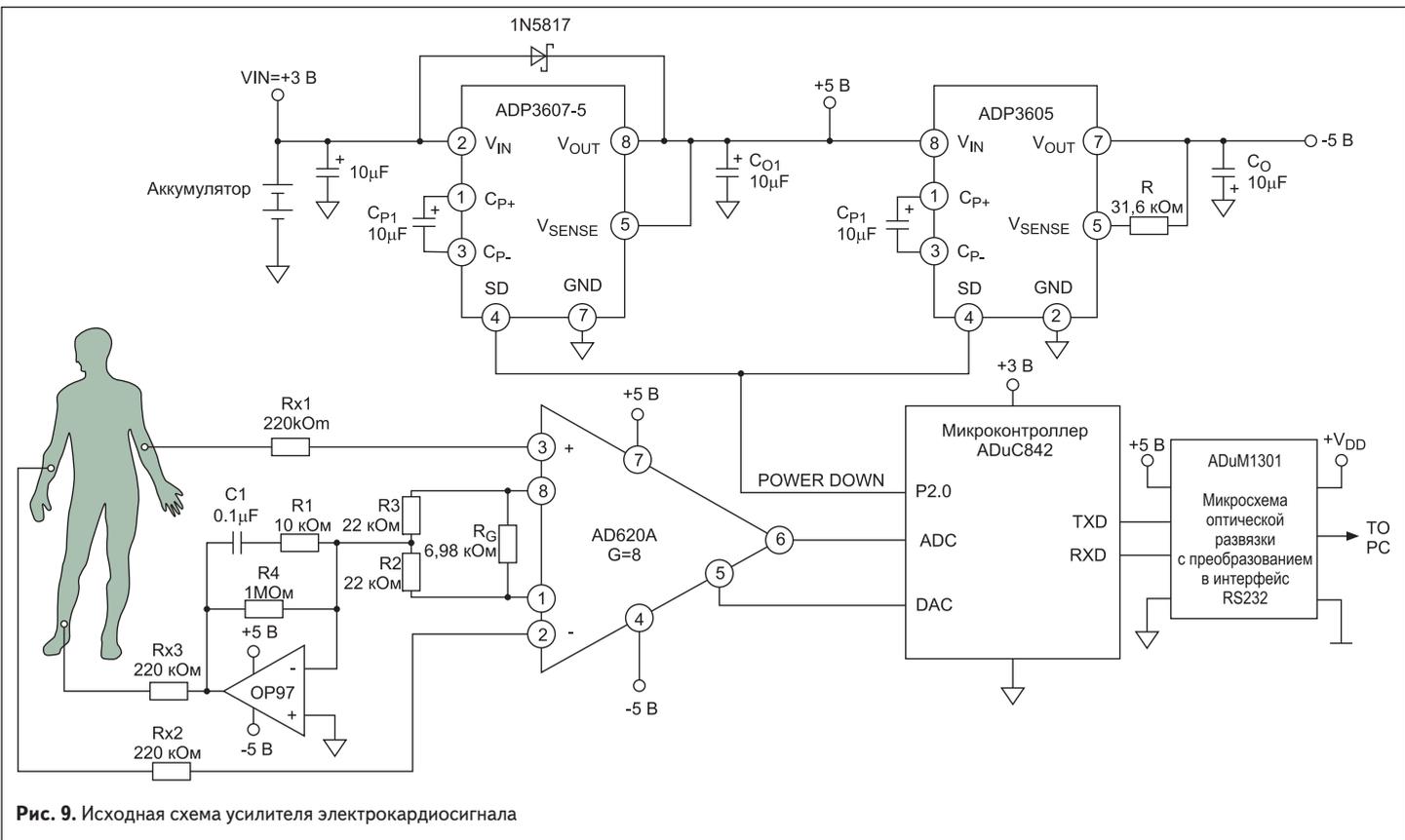


Рис. 9. Исходная схема усилителя электрокардиосигнала

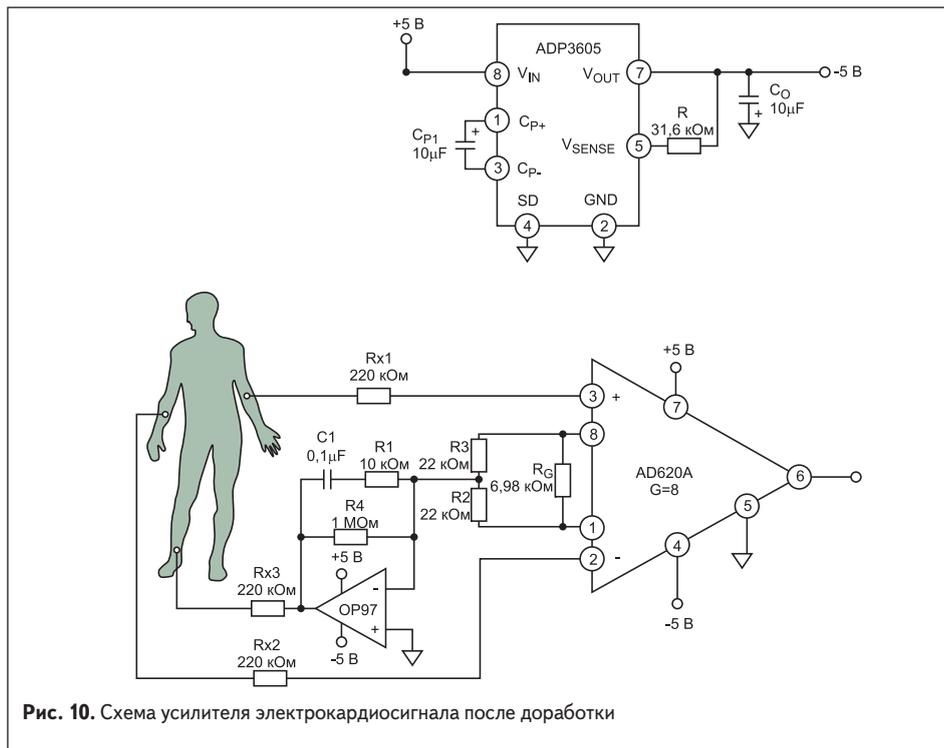


Рис. 10. Схема усилителя электрокардиосигнала после доработки

близка к звуковой. Отсюда вытекает возможность построения устройств для дистанционного снятия электрокардиограммы человека на основе модуля WT32. Попытка построения подобного прибора была предпринята в ходе написания данной статьи. Главным отличием электрокардиосигнала является его малая амплитуда (0,5–5 мВ) по сравнению со звуковым сигналом, получаемым с выхода микрофона. Поэтому основной задачей при построении прибора для снятия электрокардиограммы (ЭКГ) является разработка предварительного усилителя сигнала ЭКГ до уровня, который мог бы быть воспринят аудиокодеком модуля WT32.

При разработке усилителя за основу была взята схема, приведенная в [6] и собранная на основе компонентов производства фирмы Analog Devices (рис. 9).

Схема усилителя может быть значительно упрощена исходя из следующих соображений:

- Питание усилителя должно осуществляться от USB-порта ноутбука с напряжением питания +5 В. Отпадает необходимость в микросхеме ADP3607-5, выполняющей преобразование напряжения питания из 3 в 5 В.
- Вместо микроконтроллера ADuC842 и микросхемы развязки ADuM1301 должен использоваться модуль WT32, передающий данные по радиоканалу на персональный компьютер, где будет осуществляться цифровая фильтрация и обработка электрокардиосигнала.
- Вывод SD микросхемы ADP3605 [7] используется для перевода данной микросхемы в спящий режим подачи высокого уровня. В данном случае использование спящего режима не предусмотрено. Поэтому вывод SD должен быть заземлен.
- Вывод 5 микросхемы AD620A [8] используется для задания постоянной составляющей, относительно которой будет наблюдаться выходной сигнал, снимаемый с вывода 6.

В данном случае вывод 5 может быть заземлен.

Таким образом, схема на рис. 9 может быть приведена к виду, изображенному на рис. 10. Важно отметить, что резистор  $R_G$  задает коэффициент усиления. Он был сделан переменным для удобства настройки усилителя. Подключение усилителя на рис. 10 к модулю WT32 выполняется по схеме, соответствующей несимметричному включению конденсаторного микрофона. То есть сигнал с вывода 6 микросхемы AD620A должен быть отправлен на один из выводов дифференциального микрофонного входа модуля WT32. Второй вывод микрофонного входа модуля должен быть заземлен.

Для наблюдения осциллограммы электрокардиосигнала на экране компьютера могут быть использованы как стандартные приложения Windows для работы с микрофоном, так и специальные математические пакеты, такие как MATLAB, LabVIEW и др.

В [6] отмечено, что после усиления электрокардиосигнал будет содержать шумы. Это подтверждается экспериментальными данными, полученными с помощью пакета LabVIEW. На рис. 11а приведен график сигнала до цифровой фильтрации. На рис. 11б показан сигнал, обработанный полосовым фильтром, в результате чего стало возможным наблюдение характерных параметров ЭКГ.

Следует признать, что беспроводное соединение Bluetooth при передаче сигнала ЭКГ оказалось достаточно ненадежным. Наблюдается зависимость качества наблюдаемого сигнала от текущей обстановки в радиоэфире. Различного рода импульсные помехи могут исказить сигнал ЭКГ и помешать качественной диагностике пациента. Под действием радиопомех связь с модулем WT32 может прерываться. Это делает затруднительным мониторинг ЭКГ по Холтеру, поскольку

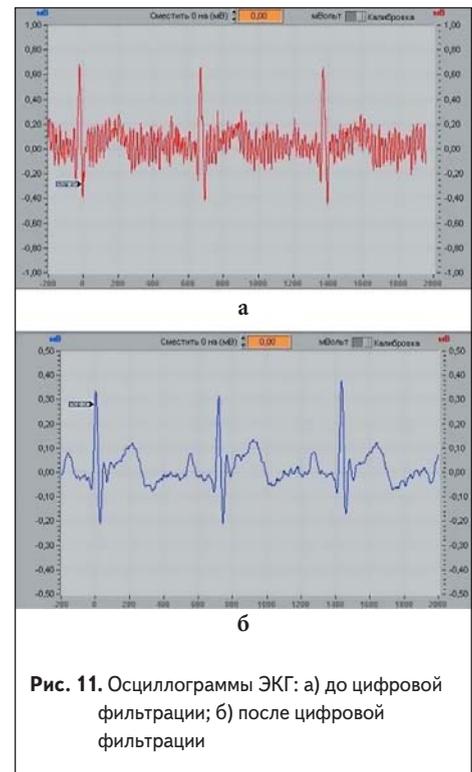


Рис. 11. Осциллограммы ЭКГ: а) до цифровой фильтрации; б) после цифровой фильтрации

в этом случае подразумевается непрерывное накопление данных об ЭКГ пациента в течение длительного времени (от нескольких часов до нескольких суток).

Подводя итог, можно отметить перспективность задачи беспроводного обмена речевыми данными на коротких расстояниях. Модуль WT32 производства финской компании Bluegiga благодаря его невысокой стоимости, простоте использования, малым габаритам, встроенному аудиокодеку высокого разрешения, возможности подключения зарядного устройства для аккумулятора и др. можно рекомендовать для применения в коммерческих приложениях (беспроводные гарнитуры для мобильных радиостанций, звуковые проигрыватели, сотовые телефоны). Технические и экономические характеристики модуля способствуют сокращению времени разработки и минимизации затрат при выходе на рынок с готовым продуктом.

### Литература

1. Годфруа Ж. Что такое психология / Пер. с франц. М.: Мир. 1992.
2. Рестович А., Стоян И., Чубич И. Bluetooth-технология беспроводной связи и ее применение. Ericsson Nikola Tesla REVIJA 18 (2005) 1.
3. WT32 Data sheet.
4. Hands-Free And Headset Profiles Iwrap Application Note. August 2009. Version 1.3.
5. Боровский В. П., Костенко В. И., Михайленко В. М., Паргала О. Н. Справочник по схемотехнике для радиолюбителя. К.: Техника. 1987.
6. Hartmann E. ECG Front-End Design is Simplified with MicroConverter // Analog Dialogue. Vol. 37. 2003. № 11.
7. ADP3605 Datasheet.
8. AD620A Datasheet.