

# Новый Bluetooth-радиомодуль LMX9838

## от компании National Semiconductor

**Алексей Аникин**  
aap@efo.ru

Чаще всего технология Bluetooth используется для замены проводного соединения с интерфейсом RS-232 в системах передачи данных типа «точка-точка» [1]. При этом наибольшей популярностью пользуются Bluetooth-устройства второго класса (дальность связи 10–15 м). Несмотря на то, что для большинства приложений профиль SPP (Serial Port Profile) оказывается достаточным, возможности технологии Bluetooth простираются гораздо дальше простой замены двунаправленного проводного интерфейса. Они позволяют решать задачи, связанные с передачей речи высокого качества, пересылкой файлов между двумя или более ЭВМ, обменом данными между мобильным терминалом и беспроводной гарнитурой и многое другое.

В случае применения технологий Bluetooth в переносных устройствах решающими факторами становятся габариты радиомодуля и возможность его встраивания в системы с высокой степенью интеграции.

В рамках данной статьи рассмотрим новый Bluetooth-радиомодуль LMX9838 (рис. 1), выпускаемый компанией National Semiconductor и отвечающий требованиям второго класса по излучаемой мощности.

Этот модуль был анонсирован еще в октябре 2006 года [2]. Изначально предполагалось, что LMX9838 придет на смену своему более старому аналогу LMX9820. Но в результате оказалось, что новый модуль значительно превзошел своего предшественника как по своим возможностям, так и по техническим характеристикам.

Начнем с того, что LMX9838 — высокоинтегрированный модуль Bluetooth, который содержит контроллер Bluetooth с версией спецификации 2.0, приемопередатчик диапазона 2,4 ГГц, кварцевый резонатор, антенну, стабилизатор напряжения и дискретные

компоненты. Причем все это разработчикам удалось уместить внутри корпуса размером всего 10×17×2,0 мм.

Корпус модуля LMX9838 относится к типу BGA. Выводы представляют собой набор контактных площадок, расположенных на днище модуля (рис. 2). С одной стороны, это позволяет размещать модуль на плате максимально компактно по отношению к соседним элементам, но с другой — требует достаточно сложного технологического процесса пайки. При внимательном изучении документации на модуль LMX9838 [3] оказалось, что группа контактов 41–70, расположенная в середине днища, не задействована. Производитель настоятельно рекомендует избегать размещения проводниковых дорожек либо других металлических поверхностей, в тех местах, где эти контакты соприкасаются с платой. Контакты под номерами 33–40 также не используются, но производитель рекомендует задействовать их для повышения механической прочности и устойчивости соединения модуля с платой. Все активные выводы с номерами 1–32 располагаются по краям радиомодуля. Это оставляет возможность использовать модуль LMX9838 радиолюбителям, а также разработчикам, предпочитающим ручной способ монтажа.

Сложность технологического процесса пайки модуля на плату в некоторой степени компенсируется тем, что LMX9838 позиционируется как устройство Bluetooth, которое может встраиваться в конечное приложение пользователя без дополнительного тестирования и затрат на лицензирование.

Разработчиками модуля LMX9838 были предприняты шаги по снижению энергопотребления. Во-первых, LMX9838 снабжен встроенным стабилизатором напряжения, что косвенным образом снижает потребление

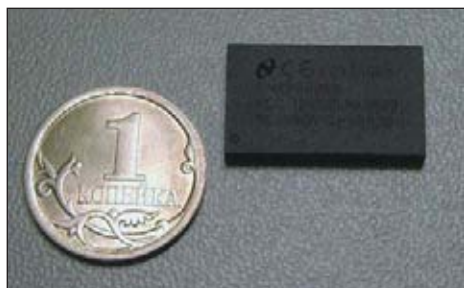


Рис. 1. Внешний вид модуля LMX9838

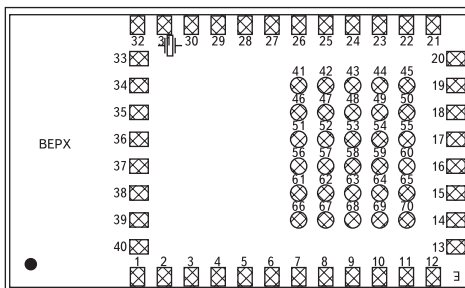
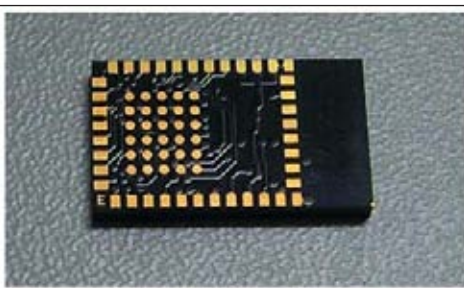


Рис. 2. Расположение контактов модуля LMX9838



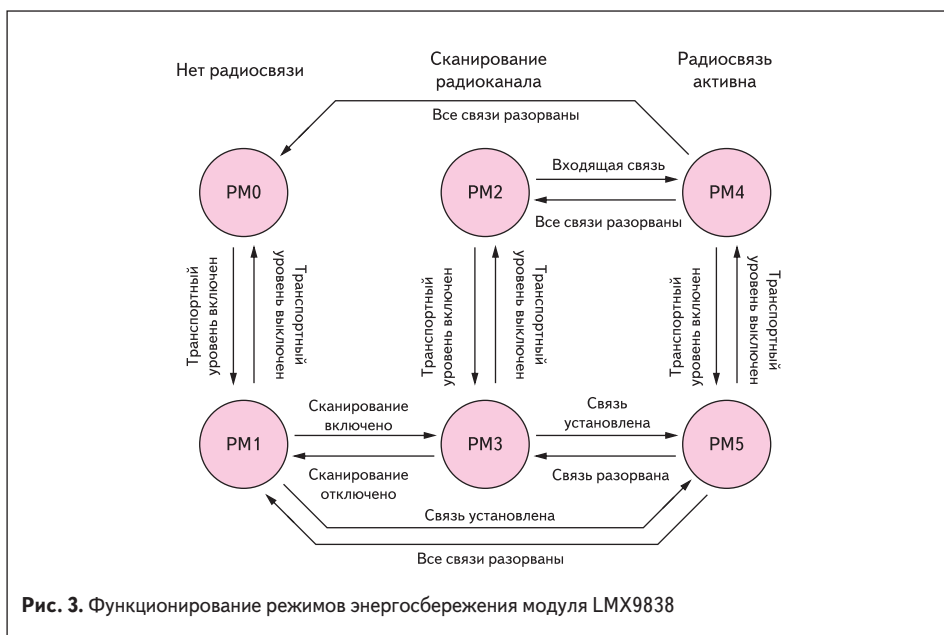


Рис. 3. Функционирование режимов энергосбережения модуля LMX9838

Таблица 1. Режимы энергосбережения

Режим энергосбережения	Активность UART	Активность радиоканала	Тактовый генератор
PM0	Нет	Нет	Не активен
PM1	Есть	Нет	Основной
PM2	Нет	Сканирование	Основной, либо 32,768 кГц
PM3	Есть	Сканирование	Основной
PM4	Нет	Связь по SPP	Основной
PM5	Есть	Связь по SPP	Основной

энергии. Во-вторых, за счет своей модульной структуры LMX9838 способен управлять питанием своих отдельных блоков. Всего предусмотрено 6 основных режимов энергосбережения (рис. 3).

Функционирование составляющих блоков модуля LMX9838 в различных режимах энергосбережения приведено в таблице 1.

В радиомодуле LMX9838 компания National Semiconductor впервые внедрила одну из своих передовых разработок, которая получила название Digital Smart Radio [3]. Ее идея заключается в применении при обработке принимаемого радиосигнала гетеродинной схемы с низкой промежуточной частотой (2 МГц).

Упрощенная схема гетеродинного приемника [4], встроенного внутри модуля LMX9838, изображена на рис. 4. Сначала принимаемый сигнал поступает в малошумящий высокочастотный усилитель. Затем происходит выделение квадратурных составляющих I и Q сигнала путем одновременной подачи его на два смесителя. В одном смесителе обрабатываемый сигнал умножается на сигнал гетеродина с нулевым фазовым сдвигом, во втором — на сигнал гетеродина, сдвинутый по фазе на угол 90°. В результате перемножения в обоих гетеродинах спектр исходного сигнала раздваивается: в нем появляются высокочастотная (ВЧ) и низкочастотная (НЧ) составляющие. В данном случае

ВЧ составляющую спектра необходимо подавить. Для этого используется фильтр промежуточной частоты (ПЧ). Поскольку частота гетеродина составляет всего 2 МГц, то расстояние между ВЧ и НЧ составляющими спектра оказывается мало (4 МГц) и задача подавления ВЧ составляющей с помощью традиционных средств представляется весьма сложной. Однако инженерам National Semiconductor удалось эту задачу решить путем применения в качестве фильтров

ПЧ полифазных рекурсивных фильтров [5, 6], обладающих, как известно, высокой частотной избирательностью (высокой крутизной фронтов частотной характеристики) при невысоком значении порядка (фильтр Баттерворта, 5-й порядок).

Определив квадратурные составляющие I и Q, которые получаются на выходе фильтров ПЧ, можно выделить огибающую радиосигнала с помощью обычной операции квадратурного суммирования. Для выполнения этой операции служит детектор огибающей. На выход детектора поступает последовательность информационных бит, которые могут подвергаться дальнейшей обработке (фильтрация, усиление, декодирование и т. д.).

Идея, заложенная в основу рассмотренного алгоритма обработки радиосигнала, проста. Но для своего исполнения внутри миниатюрного чипа LMX9838 она потребовала от разработчиков внедрения самых передовых технологий из области радиотехники. В частности, физическая реализация большинства блоков схемы на рис. 4 (смесители, полифазные фильтры, блок детектора огибающей) стала возможной благодаря использованию цифровой обработки радиосигналов, которая позволяет достигать высоких показателей качества и уместить конечное изделие в весьма компактных размерах.

Цифровые технологии также были применены и при формировании сигнала передатчика модуля LMX9838. Квадратурные составляющие I и Q, исходного низкочастотного сигнала хранятся в цифровом виде в специальных таблицах, расположенных в памяти ROM модуля LMX9838. При необходимости содержимое таблицы считывается и подается на квадратурный ЦАП (IQ-DA Converter) [3]. Далее осуществляется перенос спектра в ВЧ область, усиление сигнала и передача его в эфир.

Поддержка функционирования модуля осуществляется за счет встроенного высокоскоростного 16-разрядного RISC-процессора (рис. 5) оригинальной разработки компании

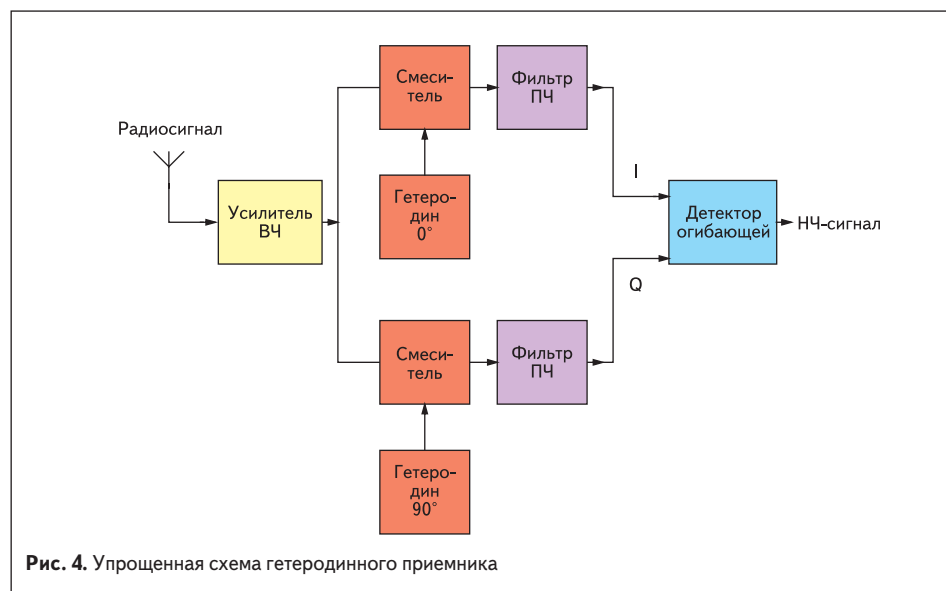


Рис. 4. Упрощенная схема гетеродинного приемника

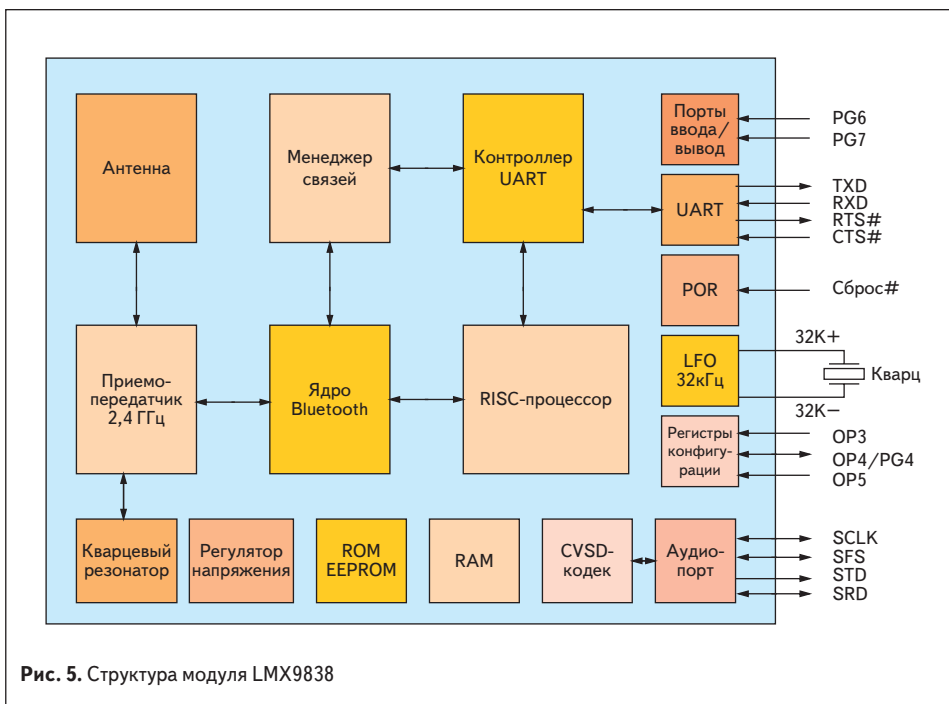


Рис. 5. Структура модуля LMX9838

National Semiconductor и контроллера Bluetooth с версией спецификации 2.0. Оба процессора оперируют памятью RAM общим объемом 16 кбайт, отведенной для хранения данных, и памятью ROM.

Рассмотрим теперь возможности встроенного программного обеспечения модуля LMX9838. Завершенность решения, предлагаемого в рамках радиомодуля LMX9838, обеспечивается включением верхних и нижних слоев стека Bluetooth (рис. 6) с поддержкой протоколов L2CAP, RFCOMM, SDP и профилей прикладного уровня [7]: Generic Access Profile (GAP), Service Discovery Application Profile (SDAP), и Serial Port Profile (SPP). К тому же модуль LMX9838 поддерживает профили Dial-up



Рис. 6. Организация встроенного программного обеспечения модуля LMX9838

Networking Profile (DUN), Fax Profile (FAX), File Transfer Profile (FTP), Object Push Profile (OPP), Synchronisation Profile (SYNCH), Headset Profile (HSP), Hands-Free Profile (HFP), Basic Imaging Profile (BIP) и Basic Printing Profile (BPP), реализованные на уровне внешнего (on Host) приложения.

Модуль содержит встроенный интерпретатор команд (рис. 6), поступающих по UART, который дает пользователю возможность настраивать многочисленные параметры модуля непосредственно в процессе его работы. Команды делятся на следующие группы:

- Управление обнаружением совместимых устройств.
- Управление обнаружением доступных сервисов.
- Управление соединением с использованием профиля SPP.
- Настройка параметров соединения по умолчанию.
- Управление режимами пониженного энергопотребления.
- Контроль передачи аудиоданных.
- Управление выходом из режимов пониженного энергопотребления.
- Конфигурирование профиля последовательного порта SPP.
- Локальные настройки Bluetooth.
- Конфигурирование локальных сервисов.
- Конфигурирование локального оборудования.
- Команды инициализации.
- Управление программируемыми входами/выходами GPIO.

Отдельного рассмотрения заслуживает конфигурирование интерфейса UART. Данный интерфейс поддерживает все стандартные опции асинхронного последовательного порта и скорости от 2400 бит/с до 921,6 кбит/с. Параметры UART, как и прочие многочисленные параметры модуля LMX9838, используемые для его инициализации в момент включения

Таблица 2. Варианты настройки скорости UART

OP3	OP4	OP5	Скорость UART
Логич. 1	Логич. 0	Логич. 0	Берется из EEPROM (по умолчанию 9600 бит/с)
Логич. 1	Логич. 0	Логич. 1	9,600 кбит/с
Логич. 1	Логич. 1	Логич. 0	115,2 кбит/с
Логич. 1	Логич. 1	Логич. 1	921,6 кбит/с

питания, хранятся в энергонезависимой памяти EEPROM. Выставление скорости обмена данными по UART может производиться двумя способами:

1. С помощью опциональных контактов (option pins) OP3 (контакт 16 на рис. 2), OP4 (контакт 26) и OP5 (контакт 25).
2. Значение скорости считывается из соответствующей ячейки EEPROM, куда оно предварительно записывается с помощью встроенного командного интерфейса.

Различные варианты настройки скорости UART приведены в таблице 2.

Модуль LMX9838 поддерживает несколько разновидностей соединения типа «точка-точка» (прозрачное соединение, соединение с поддержкой команд и др.) и соединение «точка-многоточка», позволяющее модулю функционировать в составе пико-сетей. Благодаря возможностям встроенной памяти RAM могут одновременно работать 7 активных каналов ACL (Asynchronous Connection-Less) передачи данных Bluetooth, когда каждый пакет данных передается в эфир только один раз (такой способ организации канала используется в прозрачном режиме при соединении типа «точка-точка»), и один активный канал SCO (Synchronous Connection Oriented), когда при передаче каждого пакета данных проводится проверка контрольной суммы и, если обнаружена ошибка, процесс пересылки повторяется (такой способ организации канала используется для соединения типа «точка-многоточка»).

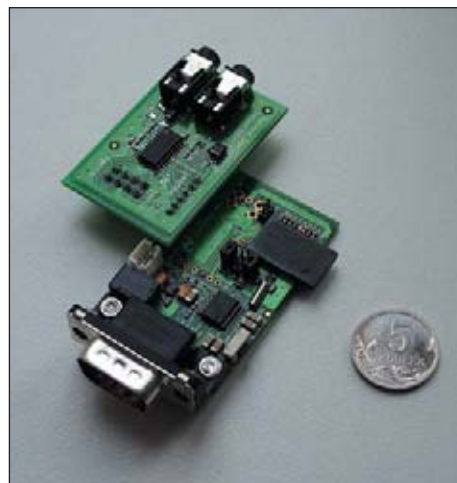


Рис. 7. Внешний вид демонстрационного модуля LMX9838 serial dongle

Таблица 3. Возможные сочетания джамперов

J2	J3	J1	Скорость UART
Замкнут	Замкнут	Замкнут	921,6 кбит/с
Замкнут	Разомкнут	Замкнут	115,2 кбит/с (по умолчанию)
Разомкнут	Замкнут	Замкнут	9,6 кбит/с
Разомкнут	Разомкнут	Замкнут	Значение берется из EEPROM. По умолчанию — 9,6 кбит/с

Для ознакомления с многочисленными возможностями модуля LMX9838, а также для отладочных целей компания National Semiconductor выпускает специальный демонстрационный модуль LMX9838 serial dongle (рис. 7) [8].

LMX9838 serial dongle является полностью готовым (plug and play) к самостоятельной работе устройством. Имеет в своем составе непосредственно сам радиомодуль LMX9838, а также все необходимые элементы для обеспечения его работоспособности и взаимодействия с внешними устройствами посредством интерфейса RS-232. Питание демонстрационного модуля может осуществляться как от сетевого адаптера, так и от батарей. Для обоих вариантов на плате предусмотрены специальные разъемы. Диапазон входного напряжения может колебаться от 5 до 6 В. Согласование уровней UART с уровнями интерфейса RS-232 производится с помощью высокоскоростного драйвера MAX3225. Скорость обмена данными с модулем LMX9838 по интерфейсу UART устанавливается аппаратно замыканием-размыканием джамперов J1, J2, J3. Возможные сочетания джамперов приведены в таблице 3.

На плате демонстрационного модуля присутствуют выводы для подключения внешнего микроконтроллера. Среди них находятся:

- стандартные выводы порта UART;
- «земля»;
- вывод питания 3,3 В;
- вывод для подачи импульса сброса (Reset) на модуль LMX9838.

Демонстрационный модуль LMX9838 serial dongle имеет специальный 6-контактный разъем для подключения платы расширения с аудиокодеком (плата прилагается, см. рис. 7) и способен принимать-передавать аудиоданные с высоким качеством.

С помощью включенного в комплект поставки командно ориентированного программного обеспечения Simply Blue Commander пользователь может конфигурировать модуль LMX9838 serial dongle под свои требования и отслеживать состояние его текущей конфигурации.

Для демонстрационных и тестовых целей в комплект поставки также входит программное обеспечение высокого уровня SBSmart, снабженное дружелюбным пользовательским интерфейсом и позволяющее в интерактивном режиме выполнять над модулем LMX9838 serial dongle следующие операции:

- включать различные режимы работы модуля;
- задавать любые поддерживаемые им профили;
- менять некоторые настройки;

- устанавливать соединения с Bluetooth-устройствами различного типа (беспроводные гарнитуры, КПК и др.);
- использовать модуль в качестве модема для обмена данными различного типа (речь, файловые данные и др.).

Обобщая изложенный материал, можно сделать следующие выводы. Bluetooth-модуль LMX9838 является на данный момент одним из наиболее перспективных (но в то же время и наиболее дорогих) устройств в своем классе. Благодаря высокой степени интеграции, функциональности и компактности его можно рекомендовать прежде всего для высокотехнологичных мобильных приложений. Использование модуля LMX9838 позволяет значительно сократить время разработки и производства конечного устройства. Поскольку модуль уже имеет встроенную антенну и достаточно удобно расположенные контактные площадки для пайки, то он может заинтересовать также радиолюбителей и разработчиков мелкосерийной продукции.

Демонстрационный модуль LMX9838 serial dongle в комплекте с сопутствующим оборудованием и программным обеспечением является вполне самостоятельным устройством широкого назначения. Его можно рекомендовать тем разработчикам, которые не имеют возможности проектировать цепи питания и согласования модуля LMX9838 с внешними устройствами и хотят получить законченное решение в минимальные сроки. ■

## Литература

1. Федоров В. Модули Bluetooth в промышленных приложениях и системах сбора информации // Беспроводные технологии. 2007. № 3.
2. Бочарников И. BLUETOOTH-модуль LMX9838 от National Semiconductor // Новости Электроники. 2007. № 10.
3. LMX9838 Bluetooth Serial Port Module. Data sheet. July 2007.
4. Момот Е. Г. Проблемы и техника синхронного радиоприема. М.: Связьиздат, 1961.
5. Еремеев В. П., Матосов Э. В., Тимонин С. Г. Рекурсивные полифазные цифровые фильтры. Computer Modelling and New Technologies 4, 2000. N 2.
6. Еремеев В. П., Матосов Э. В. Квадратурные полифазные фильтры. Сборник научных трудов РАО. Рига, 1998.
7. Рестович А., Стоян И., Чубич И. Bluetooth технология беспроводной связи и ее применение. Ericsson Nikola Tesla REVIJA 18 (2005) 1.
8. LMX9838DONGLE Hardware User Guide. Data sheet. March 2007.