

Однокристалльные ISM-трансиверы Semtech: уверенная связь в сложных условиях

Константин ВЕРХУЛЕВСКИЙ
info@icquest.ru

Статья посвящена новым разработкам компании Semtech в области беспроводной передачи данных. Рассматриваются структурные схемы, основные рабочие характеристики и функциональные особенности трансиверов, предназначенных для работы в ISM-диапазоне. Дополнительно проведена оценка преимуществ использования собственного запатентованного метода модуляции в задачах дистанционного измерения и контроля.

Введение

Задача организации взаимодействия двух или более устройств, удаленных друг от друга на расстояние от нескольких метров до километра, может быть решена двумя способами: при помощи проводных или беспроводных интерфейсов. В первом случае прокладка кабеля может быть затруднена или потребовать длительных и сложных согласований, а также значительных экономических затрат. Бурный рост микропроцессорных технологий, постоянное снижение стоимости беспроводных решений и повышение их эксплуатационных параметров дают возможность отказаться от проводов и проводных сетей в системах контроля, диагностики и обмена информацией. Беспроводные сети отличаются более гибкой архитектурой, позволяют оперативно изменять конфигурацию и количество узлов, требуют меньших затрат при их установке и обслуживании. Кроме того, при обмене данными с движущимися устройствами или устройствами, находящимися под высоким напряжением, во взрывоопасной среде, беспроводные технологии становятся просто незаменимыми.

На аппаратном уровне задача организации беспроводной сети решается при помощи простых в применении радиотрансиверов ISM-диапазона, не требующих регистрации и платы за использование частотного ресурса. Нелицензируемый ISM (Industrial, Scientific, Medical) радиочастотный диапазон широко используется в системах автоматизации и дистанционного управления для дома и офиса, для контроля параметров удаленных объектов, управления производственными процессами, в системах коммерческого учета, беспроводных датчиках систем охраны и безопасности, системах управления освещением, персональных

радиосетях, бытовой электронике и радиоуправляемых игрушках. В России на основании решения Государственной комиссии по радиочастотам (ГКРЧ) для этих целей в диапазоне от 100 МГц до 10 ГГц выделены следующие каналы: 433,92 МГц $\pm 0,2\%$; 915 МГц $\pm 1,4\%$; 2,45 ГГц $\pm 2\%$; 5,8 ГГц $\pm 1,3\%$. Эти частоты можно использовать без оформления соответствующего разрешения ГКРЧ при условии соблюдения требований по ширине полосы, излучаемой мощности и назначению готового изделия. В США и странах ЕС набор частот ISM-диапазона шире [1].

Работая над задачей беспроводной передачи данных, инженеры ищут решения, которые позволяли бы достичь максимально возможной дальности устойчивой связи, потребляли бы как можно меньше энергии для автономной работы, не требовали бы регистрации и платы за использование частотного ресурса, имели бы привлекательную цену и были бы просты в освоении.

Кроме того, выбор приемопередающей микросхемы для беспроводного модуля во многом зависит от решения таких проблем, как:

- Устранение взаимного влияния радиоустройств. Однотипные устройства, приборы сигнализации, связи, бытовая электроника — источники возможной интерференции сигналов. Поэтому важным фактором являются селективные возможности приемников.
- Обеспечение надежного постоянного соединения, на качество которого влияют наличие препятствий, затухание сигнала с расстоянием, многолучевое распространение. Основные влияющие параметры — чувствительность приемника, мощность передатчика, способы модуляции сигнала, тип применяемой антенны.

- Обеспечение информационной безопасности системы. Основные параметры — модуляция сигнала, шифрование трафика, используемые протоколы обмена.

Решение всех вышеперечисленных задач является необходимым условием для выхода на рынок с конкурентоспособным продуктом.

Однокристалльные радиочастотные решения компании Semtech

Semtech является известным производителем высококачественных микросхем ближней радиосвязи ISM-диапазона, предназначенных прежде всего для организации персональных сетей передачи данных, автоматизации зданий и технологических установок, беспроводных систем безопасности, автоматизированных комплексов дистанционного управления и контроля. Компания постоянно проводит модернизацию существующих и выпуск новых изделий в соответствии с требованиями разработчиков. Например, за 2012 год было представлено больше новинок, чем у компаний TI и Silabs вместе взятых.

Далее речь в основном пойдет о новых микросхемах, появившихся в свободном доступе в прошлом году, а также о трансиверах, доступных пока только для опытного применения. Предлагаемая линейка устройств изготовлена с целью получения бюджетного и гибкого решения, позволяющего обеспечить устойчивую радиосвязь как на открытом пространстве, так и в условиях плотной городской застройки. Посредством беспроводных модулей, изготовленных на основе трансиверов, может осуществляться передача аудиосигналов, а также любых цифровых данных.

Таблица 1. Основные характеристики линейки радиочастотной продукции Semtech

Наименование	Tx/Rx	Диапазон рабочих частот, МГц	Выходная мощность, дБм	Тип модуляции	Максимальная скорость передачи, кбит/с	Чувствительность, дБм	Бюджет канала связи, дБ	Потребление тока в режиме передачи, мА	Потребление тока в режиме приема, мА
Высокопроизводительные	SX1230 Tx	290–1000	–20...17	G/F/MSK, OOK	300 (FSK); 32,7 (OOK)	–	–	33 (при Pout = 10 дБм)	–
	SX1239 Rx	290–1000	–20...17	G/F/MSK, OOK	300 (FSK); 32,7 (OOK)	–120	–	–	16
	SX1231 Tx/Rx	290–1000	–20...17	G/F/MSK, OOK	300 (FSK); 32,7 (OOK)	–120	137	33 (при Pout = 10 дБм)	16
	SX1233 Tx/Rx	290–1000	–20...17	G/F/MSK, OOK	600 (FSK); 100 (OOK)	–120	137	33 (при Pout = 10 дБм)	16
	SX1232 Tx/Rx	860–1000	–20...20	FSK/OOK/ASK	250	–123	143	25 (при Pout = 13 дБм)	9,5
Малопотребляющие	SX1211 Tx/Rx	862–960	–20...13	FSK/OOK/ASK	200 (FSK); 32,7 (OOK)	–107	120	25 (при Pout = 10 дБм)	2,8
	SX1212 Tx/Rx	310–510	–20...13	FSK/OOK/ASK	200 (FSK); 32,7 (OOK)	–108	121	25 (при Pout = 10 дБм)	2,5
	SX1210 Rx	862–960	–20...13	FSK/OOK/ASK	200 (FSK); 32,7 (OOK)	–107	–	–	2,8
	SX1213 Tx	310–510	–20...13	FSK/OOK/ASK	200 (FSK); 32,7 (OOK)	–108	–	–	2,5
	SX1240 Tx	433/868	0/10	FSK/OOK/ASK	150	–	–	16 (при Pout = 10 дБм)	–
	SX1242 Tx	395	0/12	FSK/OOK/ASK	150	–	–	16 (при Pout = 10 дБм)	–
	SX1243 Tx	310–1000	0/10	FSK/OOK/ASK	115	–	–	15 (при Pout = 10 дБм)	–

Линейка радиочастотной продукции Semtech представляет собой высокоинтегрированные устройства. К их преимуществам относятся:

- Увеличенный радиус действия. Достигается благодаря высоким показателям чувствительности (до –148 дБм) и программируемой выходной мощности (до +20 дБм). Следствием является уменьшение стоимости всей системы в целом из-за сокращения требуемого количества ретрансляторов.
- Стабильное функционирование в условиях интерференционных помех независимо от изменения питающего напряжения.
- Минимальное энергопотребление (до 2,5 мА в режиме приема). Этот показатель, а также малое потребление тока в спящем режиме и сверхбыстрый переход в рабочий режим позволяют увеличить срок работы беспроводных устройств, питающихся от батарейных элементов.
- Универсальность применения. Все микросхемы имеют возможность динамического изменения рабочей частоты, скорости передачи данных и выходной мощности, что позволяет использовать один и тот же беспроводной модуль для решения разных задач.
- Простота использования. Для подключения большинства микросхем требуется минимум внешних элементов.

Линейка радиочастотной продукции компании Semtech, предназначенная для применения в ISM-диапазоне частот, состоит из приемников, передатчиков и трансиверов [2]. Большую часть из них можно условно разделить на две основные группы (табл. 1): высокопроизводительные и малопотребляющие.

Семейство высокопроизводительных микросхем SX123x является экономичным решением для создания беспроводных устройств, применяемых в системах обеспечения безопасности и удаленного доступа, сетях сбора данных, при автоматизации зданий и т. д. Микросхемы этого семейства отличаются гибкостью применения, так как имеют широкий диапазон рабочих частот — от 290 до 1000 МГц (за исключением SX1232), включающий не требующие лицензирования ISM-частоты 433, 868 и 915 МГц. Отличная чувствительность приема (до –123 дБм

при скорости приема/передачи данных 1,2 кбит/с) и высокая выходная мощность обеспечивают надежную передачу на большие расстояния, это позволяет сократить требуемое количество ретрансляторов, что в конечном итоге уменьшает затраты на внедрение системы в целом. Выходная мощность приемопередатчиков SX123x программируется с шагом 1 дБ в диапазоне от –20 до +20 дБм, таким образом, энергетический бюджет линии связи достигает 143 дБм.

Компоненты этого семейства используют следующие типы модуляции: GFSK, MSK, FSK, OOK, ASK и могут работать со скоростью обмена данными до 600 кбит/с. Качество связи не зависит от изменения питающего напряжения в пределах от 1,8 до 3,7 В. Наилучшие показатели собственного энергопотребления среди ИС семейства имеет трансивер SX1232: в режиме приема — 9,5 мА, в режиме передачи — 25 мА (при выходной мощности +13 дБм). В спящем режиме потребляется не более 100 нА, при этом гарантируется сохранение содержимого внутренних управляющих регистров [3].

Во многих применениях доступный радиус действия ограничивается уровнем интермодуляционных составляющих, вызванных смешением мощных сигналов различных источников. Семейство SX123x обладает отличными показателями по интермодуляционным искажениям третьего порядка (ИПЗ). При максимальных усилении и чувствительности этот показатель составляет –12 дБм, что в сочетании с избирательностью по соседнему каналу (54 дБ) и избирательностью по зеркальному каналу (48 дБ) позволяет получить наиболее устойчивое и надежное решение для различных условий эксплуатации.

Для интеграции основных функциональных узлов на одном кристалле и минимизации числа внешних компонентов при разработке линейки SX123x инженеры компании Semtech использовали технологию TrueRF. В результате при типовой схеме подключения необходимы только пассивные развязывающие и согласующие элементы.

Внутренняя структура на примере ИС SX1232 приведена на рис. 1.

Принимаемый сигнал усиливается при помощи малошумящего усилителя (LNA). Для

упрощения проектирования и минимизации внешних компонентов используется несимметричный входной сигнал. Далее для устранения гармоник происходит преобразование в дифференциальную форму, затем из сигнала промежуточной пониженной частоты, полученного в смесителе, выделяются синфазная и квадратурная составляющие. После двух сигма/дельта-АЦП вся дальнейшая обработка и демодуляция выполняются над сигналом, представленным в цифровом виде.

Из полезных функций стоит отметить встроенный блок сверхбыстрой автоподстройки частоты (AFC), схемы индикации уровня мощности принимаемого сигнала (RSSI) и автоматической регулировки усиления. Блок формирования частоты с фазовой автоподстройкой и делителем генерирует рабочую частоту приемника и передатчика. Основным источником тактовых импульсов для синтезатора частоты является кварцевый генератор, который также обеспечивает синхронизацию цифровой части микросхемы. В режиме передачи можно использовать один из трех усилителей мощности: первый, подключенный к выводу RFO, обеспечивает усиление до +14 дБм, остальные два, соединенные с PA_Boost, при использовании рекомендованной согласующей цепи выдают до +20 дБм.

Для устранения шумов и интерференционных составляющих применяется фильтр с конечной импульсной характеристикой (КИХ) 16-го порядка. Блок битового синхронизатора служит для получения синхронизированных цифровых данных без шумовых выбросов. Выход синхронизатора программным путем может быть соединен с выводом DIO1. Для его корректного использования рекомендуется соблюдать следующие условия: преамбула пакета данных (0x55 или 0xAA) должна быть длиной не менее 12 бит, поток полезной информации должен иметь как минимум один переход с 0 на 1 или с 1 на 0 в течение каждых 16 бит, а битрейт приемника и передатчика не отличаться более чем на 6,5%.

Среди дополнительных полезных функций можно отметить наличие встроенного датчика температуры и индикатора пониженного напряжения питания, генерирующего сигнал прерывания при достижении заданного поро-

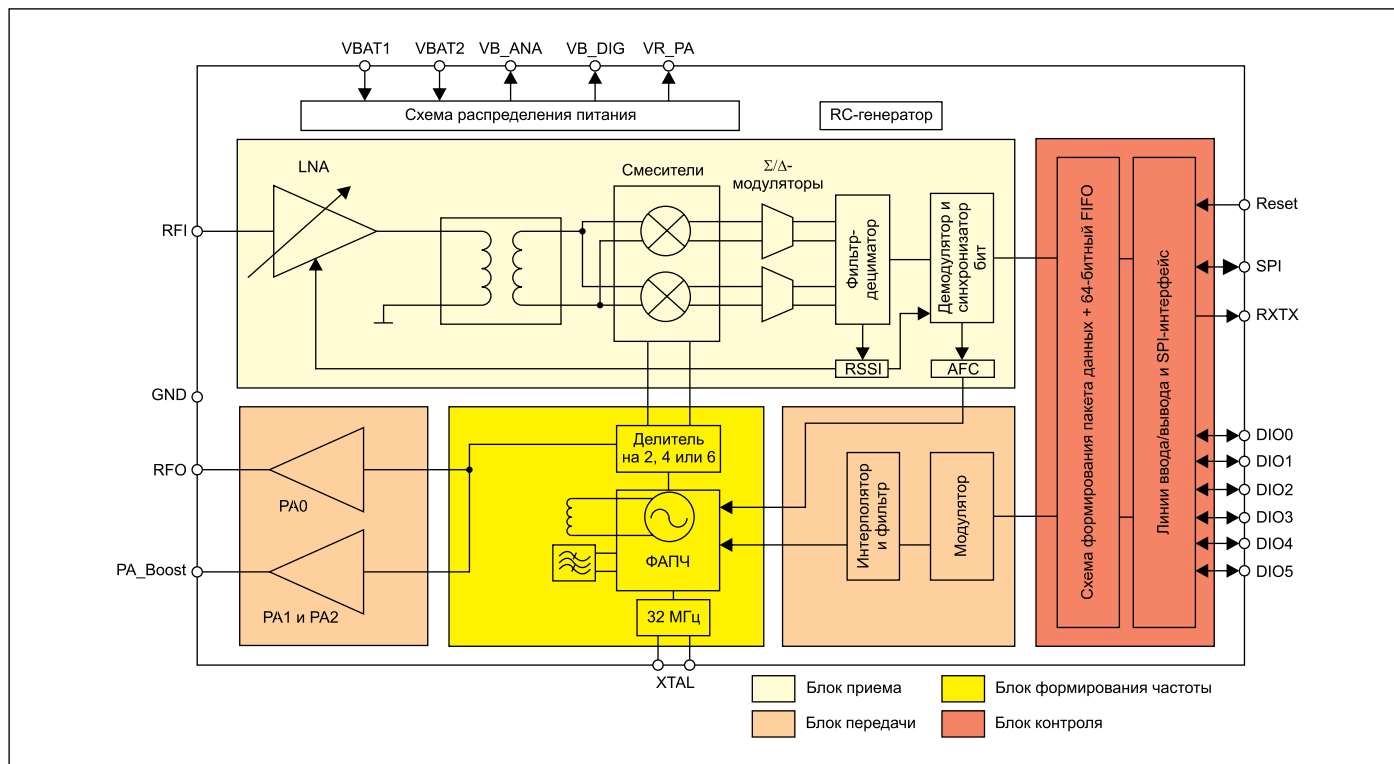


Рис. 1. Структура трансивера SX1232

га. Дополнительный вывод CLKOUT позволяет использовать ИС в качестве программируемого опорного генератора для тактирования микроконтроллера взамен кварцевого резонатора, что удешевляет схему.

Особенностью микросхем SX123x является наличие интегрированной схемы управления пакетами данных. Использование ее совместно с 64-битным буфером FIFO автоматизирует процесс приема, передачи и обработки данных (генерацию преамбулы, вставку и обнаружение синхрослова, проверку адреса, гибкий выбор длины пакета и т. д.) и значительно снижает нагрузку на внешний микроконтроллер. Также возможно функционирование в автономном режиме без внешнего управления и контроля. В этом случае применяется встроенный программируемый автомат состояний, задающий последовательность и условия перехода между режимами работы по заранее заданному алгоритму. Временные интервалы автомата состояний задаются при помощи встроенных таймеров. Для повышения надежности в трансиверах реализованы аппаратная генерация и проверка CRC (контрольной суммы пакета), а также шифрование по алгоритму AES-128. Все основные параметры радиочастотной и цифровой части микросхемы легко могут быть сконфигурированы при помощи цифрового интерфейса связи SPI. Внутренние регистры памяти позволяют динамически изменять рабочую частоту, ее девиацию, битрейт, вид модуляции и многие другие параметры, а также устанавливать режимы работы всех периферийных блоков.

Технические характеристики приемопередатчиков компании Semtech соответствуют отечественным и международным стандартам, а также стандартам Европейского Союза (ETSI EN 300-220-1), США (часть 15 FCC), Кореи и Японии. Миниатюрный корпус микросхем размерами всего 5×5 мм (QFN24) дает возможность разработчикам существенно сэкономить пространство печатной платы.

Малопотребляющие микросхемы

Наиболее часто приемопередатчики применяются в качестве автономных узлов сбора данных. В этом случае для обеспечения долговременной работы без замены питающего элемента основным требованием становится низкое собственное энергопотребление трансивера. Компания Semtech рекомендует микросхемы серий SX121x и SX124x, оптимальные для применения в портативных устройствах.

ИС SX121x представляют собой высокоэкономичные передатчики, приемники и трансиверы УВЧ-диапазона, обладающие более чем в три раза лучшим энергосбережением по сравнению с конкурентными решениями, представленными на рынке [4]. В режиме приема ток потребления составляет всего 2,5 мА, а в режиме сна — 100 нА, что позволяет этим ИС работать от одной батареи в течение нескольких лет. Скорость передачи данных достигает 200 кбит/с (при FSK-модуляции).

Высокоинтегрированная архитектура позволяет минимизировать число внешних компонентов, при этом сохраняется гибкость применения для разработчиков. ИС SX1210

и SX1211 обладают низкой ценой и предназначены для работы в диапазонах частот 863–870, 902–928 и 950–960 МГц. Их можно использовать в системах безопасности, сетях беспроводных датчиков, медицинском оборудовании, системах промышленного управления и контроля.

SX1212 — однокристалльный приемопередатчик, работающий в частотном диапазоне 310–510 МГц, SX1213 — однокристалльный приемник того же частотного диапазона. Оба изделия являются дополнением к микросхемам приемопередатчиков, работающих в частотном диапазоне 863–960 МГц.

Все изделия этого семейства совместимы повыводно. Используется как частотная (FSK), так и модуляция с ортогональным сдвигом (OOK). Чувствительность приемника — до -108 дБм, мощность передатчика — до +13 дБм. Все основные характеристики радиоканала являются программно настраиваемыми, их можно изменять во время работы путем использования SPI-интерфейса. Стабильные радиочастотные характеристики гарантируются в диапазоне рабочих температур от -40 до +85 °C.

На рис. 2 представлена структурная схема приемопередатчика SX1211 с изображением основных блоков, а на рис. 3 — упрощенная схема его подключения.

Для обеспечения неизменной чувствительности и линейности характеристик во всем диапазоне питающих напряжений используются встроенные регуляторы, преобразующие входные 2,1–3,6 В в требуемые для различных узлов значения: 0,85, 1 и 1,8 В.

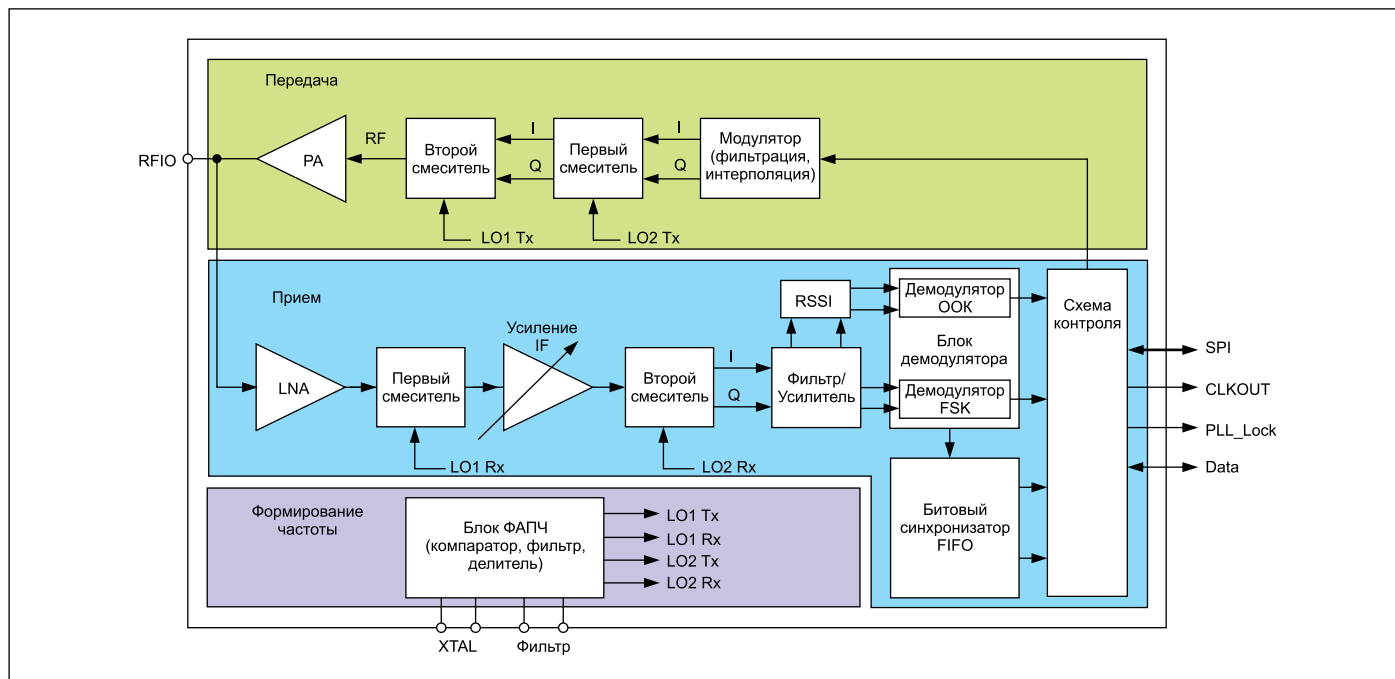


Рис. 2. Структурная схема трансивера SX1211

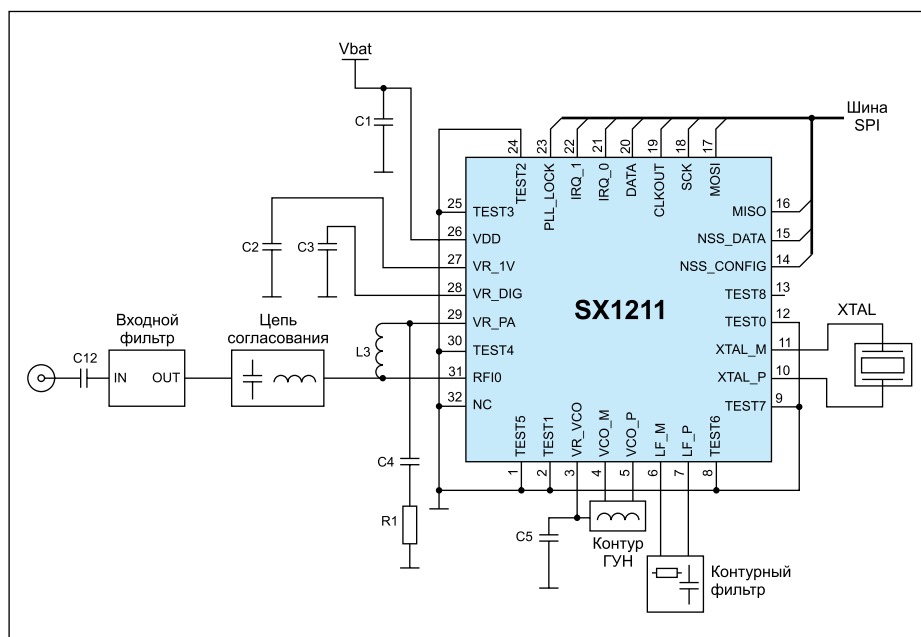


Рис. 3. Упрощенная схема подключения трансивера SX1211

Интегрированный синтезатор частоты служит для генерации промежуточных частот, используемых приемником и передатчиком, используя при этом для внутреннего ГУН и фильтра ФАПЧ только пять внешних пассивных компонентов.

В передатчике полезный сигнал переводится в аналоговую форму путем последовательного преобразования в блоках DDS, ЦАП и сглаживающих фильтров. Далее дважды осуществляется повышение частоты и усиление. Приемник SX1211 реализован по супергетеродинной схеме, принимаемый сигнал последовательно подвергается двой-

ному понижению частоты, после чего сигнал усиливается до уровня, необходимого для демодуляции. Блок обработки данных, обеспечивающий управление пакетами, автоматическое вычисление CRC, выравнивание спектра входных данных и распознавание поступающего синхрослова, включает в себя 64-байтный буфер FIFO и встроенный битовый синхронизатор. Индикатор мощности принимаемого сигнала имеет широкий динамический диапазон: более 70 дБ с разрешением 0,5 дБ. Все компоненты выпускаются в корпусах TQFN32 размерами 5×5 мм и соответствуют требованиям RoHS.

Семейство SX124x (рис. 4), которое выходит под торговой маркой Power&Go, представляет собой новую радиочастотную платформу, которая позволяет заменить дискретные РЧ-компоненты на высокоинтегрированные, маломощные и экономичные решения для коммерческих однонаправленных систем удаленного управления и сбора данных. Для использования новых передатчиков требуется только внешний кварцевый резонатор и цепь согласования импеданса антенны. Все три устройства имеют низкое потребление тока в дежурном режиме, что увеличивает срок службы батарей и делает их оптимальным решением для использования с компактными элементами питания [5].

Как следует из названия, особенностью радиопередатчиков этого семейства является использование технологии Power&Go компании Semtech, разработанной для снижения стоимости конечного изделия. Это достигается за счет отказа от использования микроконтроллера для конфигурации устройства. В режиме Power&Go передатчик автоматически переходит в режим передачи при обнаружении активности на информационном входе и возвращается в режим ожидания при отсутствии данных. Параметры, заданные для режима Power&Go по умолчанию, устанавливаются компанией на стадии производства и могут быть изменены при больших объемах заказа. Для применений, требующих большей гибкости настроек передатчика, может использоваться второй рабочий режим, получивший название "advanced". В этом случае для получения требуемой конфигурации по выходной мощности, виду модуляции, рабочему каналу и другим коммуникационным параметрам используется встроен-

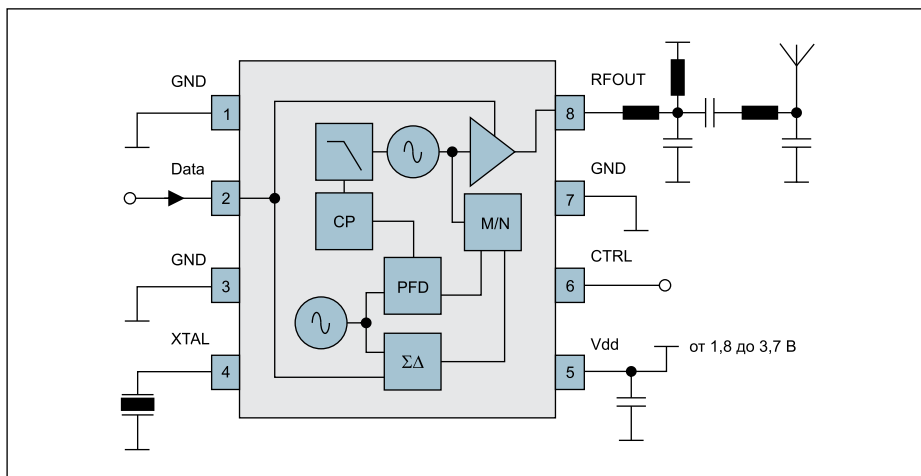


Рис. 4. Структура и схема подключения передатчика SX1240

енный в SX124x двухпроводной интерфейс подключения к внешнему микроконтроллеру. Также в этом режиме можно сконфигурировать передатчики на работу с использованием динамического изменения рабочей частоты (метода частотных скачков).

Передатчик SX1240 работает на частотах 433 и 868 МГц в ISM-диапазоне, имеет два уровня усиления (0/10 дБ) и использует частотную (FSK) и амплитудную (ООК) манипуляцию на скорости до 150 кбит/с. В режиме Power&Go он может быть сконфигурирован либо как ООК-передатчик на частоте 433 МГц, либо как FSK-передатчик на частоте 868 МГц путем простой установки потенциала на управляющем выводе. SX1240 потребляет в рабочем режиме 16 мА при выходной мощности +10 дБм и 9 мА при выходной мощности 0 дБм, а также всего 500 нА в дежурном режиме.

Передатчик SX1242 обеспечивает схожие с SX1240 характеристики, но работает на частоте 395 МГц. SX1243 работает в ISM-диапазоне на частотах 310–450, 860–870 и 902–928 МГц. Для увеличения срока службы источника питания SX1243 имеет низкий ток потребления в активном режиме (11 мА при выходной мощности +10 дБм и модуляции ООК или 15 мА при модуляции FSK), а ток в режиме ожидания не превышает 100 нА. Все компоненты поставляются в компактных 8-выводных корпусах: SOIC (SX1240 и SX1242) и DFN (SX1243).

Маломощный трансивер SX1257 компании Semtech соответствует требованиям стандарта IEEE 802.15.4g и предназначен для применения в измерительном оборудовании, портативных радиостанциях, устройствах автоматического сбора данных с датчиков и радиочастотных меток (RFID), работающих в диапазоне до 1 ГГц [6]. ИС SX1257 расширяет линейку приемопередающих устройств компании Semtech и является первым из доступных в настоящее время драйверов физического уровня, поддерживающих все обязательные и дополнительные режимы

стандарта IEEE 802.15.4g, включая мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов (OFDM).

При разработке ИС SX1257 были решены вопросы сочетания высокой производительности и обеспечения поддержки нескольких видов модуляций с постоянной и переменной огибающими, таких как MR-FSK, MR-OFDM и MR-OQPSK. Драйвер SX1257 способен функционировать в диапазоне частот 862–950 МГц, при этом обеспечивается полное соответствие нормативным требованиям ETSI, FCC и ARIB.

Основные особенности трансивера SX1257:

- полностью настраиваемые модуляторы и демодуляторы I и Q;
- полудуплексный и полностью дуплексный режимы работы;
- встроенный усилитель с малым уровнем шумов;
- предварительная аналоговая фильтрация в передающем и принимающем канале;
- программируемый КИХ-фильтр.

Семейство приемопередающих микросхем LoRa

Важнейшее требование к беспроводным устройствам, применяемым в промышленности и системах сбора информации, — надежность беспроводного канала в сложных условиях распространения сигнала. При решении этой задачи большое значение имеет максимальная дальность радиосвязи, позволяющая обойтись без использования дополнительных ретрансляторов сигнала и тем самым сократить затраты и упростить топологию сети.

Основным параметром, характеризующим общую производительность системы в целом, является бюджет канала связи, получаемый из суммы чувствительности приемника и выходной мощности передатчика. Мощность лимитирована регламентирующими стандартами, поэтому очевидным путем улучшения чувствительности приемника. Недорогие кварцевые резонаторы с нестабильностью частоты 20 ppm ограничивают чувствительность и скорость передачи типовых систем с несущей частотой 868 или 915 МГц на уровне –112 дБм и 20 кбит/с соответственно. Лучшие показатели чувствительности могут быть достигнуты при использовании термостабилизированных кварцевых генераторов, имеющих улучшенные характеристики, но в три раза большую стоимость. Метод расширения спектра прямой последовательностью (DSSS), также способный обеспечить выигрыш в 8–10 дБ по сравнению с GFSK-системами, до недавнего времени редко использовался в бюджетных решениях.

С целью увеличения радиуса действия канала связи в 4–8 раз по сравнению с существующими решениями и снижения общей стоимости конечного изделия компания Semtech

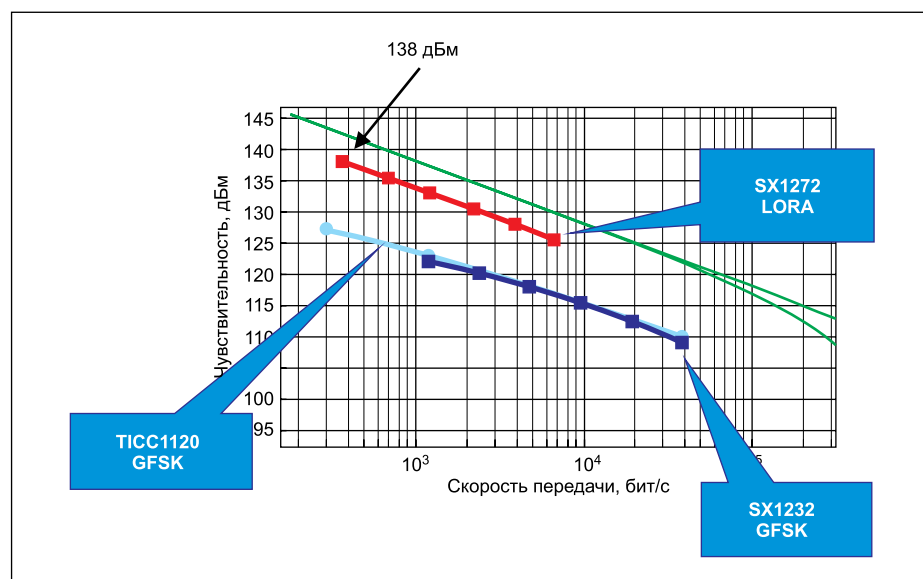


Рис. 5. Чувствительность трансиверов SX127x

начала выпуск новой линейки трансиверов под торговой маркой LoRa (Long Range), объединяющей преимущества вышеописанных высокопроизводительных и малопотребляющих серий [7]. Применение в микросхемах этой серии одноименного запатентованного способа модуляции, представляющего собой усовершенствованный метод DSSS, позволило добиться выдающихся показателей чувствительности (до -148 дБм) (рис. 5).

Помимо улучшенной чувствительности, полученные радиочастотные решения отличаются низким потреблением в режиме приема ($10,5$ мА для модуляции LoRa и $9,5$ мА при использовании G/M/FSK), повышенной помехозащищенностью и селективностью (подавление помех по соседнему каналу более 65 дБ). Они обеспечивают стабильную работу независимо от погрешности кварцевого генератора. Использование модуляции LoRa позволяет успешно обнаруживать и принимать полезные сигналы с уровнем -25 дБ от шумового порога.

В настоящее время семейство объединяет пять трансиверов (табл. 2), доступных для разработчиков в виде тестовых образцов. Их массовый выпуск начнется в течение ближайших месяцев. В качестве базовой модели для новой разработки послужил трансивер SX1232, поэтому структура и принцип действия семейства SX127х похожи на SX123х, за исключением нескольких узлов. Ключевым изменением, конечно, является появление блоков модуляторов и демодуляторов LoRa (рис. 6). Микросхемы SX1276/77/78, кроме того, отличаются наличием двух входных/выходных каналов

Таблица 2. Основные характеристики трансиверов семейства SX127х

Наименование	Диапазон рабочих частот, МГц	Бюджет канала связи, дБ	Потребление тока в режиме приема, мА	Максимальная скорость передачи, кбит/с		Чувствительность, дБм	Выходная мощность, дБм
				при использовании FSK	при использовании LoRa		
SX1272	860–1020	158	10	300	0,3–40	–138	+20
SX1273	860–1020	150	10	300	1,7–40	–130	+20
SX1276	138–1020	168	11	300	0,018–40	–148	+20
SX1277	138–1000	150	11	300	1,7–40	–130	+20
SX1278	138–510	150	11	300	0,018–40	–130	+20

для работы на разных частотах. Все устройства семейства разработаны в соответствии с требованиями международных стандартов FCC, ETSI, ARIB, IEEE 802.15.4g и WMBus.

Приведем в качестве примера отличительные характеристики SX1276, позволяющие оценить возможность использования этого трансивера в своих разработках:

- два диапазона рабочих частот: 169–510 и 860–960 МГц;
- бюджет канала связи: 168 дБ;
- мощность передатчика: до +20 дБм;
- программируемая скорость передачи: до 300 кбит/с;
- высокая чувствительность: до -148 дБм;
- значение точки пересечения IP3: -12 дБм;
- уровень блокировки приемника: 70 дБ;
- малое собственное энергопотребление: 10,5 мА в режиме приема (при модуляции LoRa), 200 нА в режиме ожидания;
- встроенный синтезатор частот с разрешением 61 Гц;
- применяемые виды модуляции: FSK, GFSK, MSK, GMSK, LoRa и OOK;
- встроенный битовый синхронизатор;

- динамический диапазон RSSI: 115 дБ;
- автоматическая регулировка частоты;
- встроенные датчик температуры и индикатор пониженного напряжения батареи.

Для подтверждения заявленных характеристик был проведен ряд полевых практических испытаний в условиях плотной городской застройки, на открытом пространстве с прямой видимостью, а также на промышленных предприятиях и под землей на линиях метрополитена [9]. Например, на схеме, изображенной на рис. 7, использовалось два трансивера для организации связи «точка-точка» без применения дополнительных ретрансляторов. Один из них располагался на высоте 35 м, другой был помещен в колодец на глубину 1,8 м. Зону прямой видимости перекрывали высотные железобетонные здания.

В результате на расстоянии более 1 км было осуществлено надежное соединение с нулевым количеством ошибочных пакетов. По итогам остальных испытаний было определено, что на частоте 868 МГц, при мощности передатчика +14 дБм и скорости 300 бит/с дальность действия новых приемо-

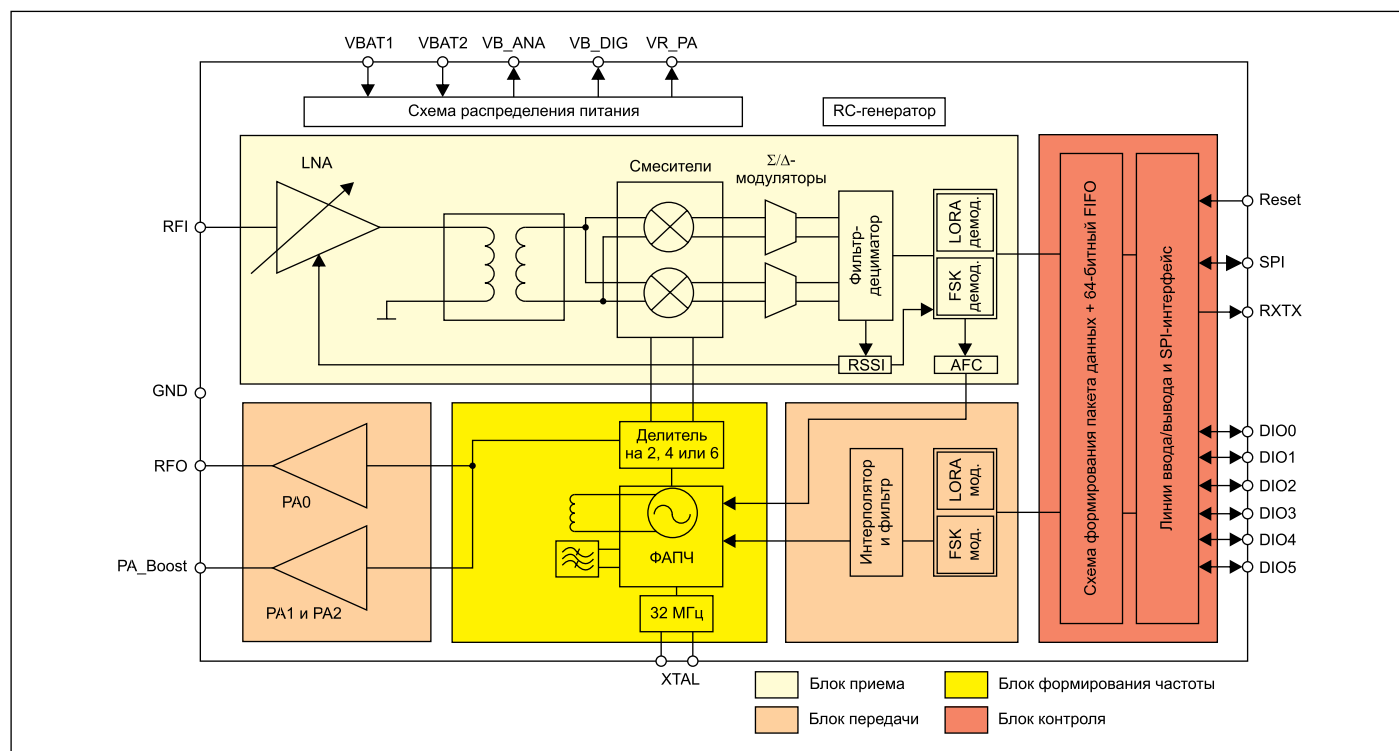


Рис. 6. Структура трансивера SX1272

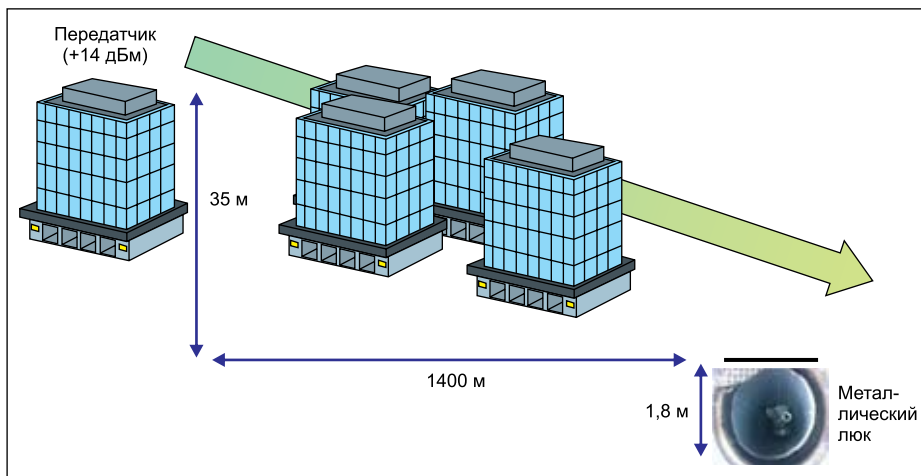


Рис. 7. Расположение трансиверов при проведении теста

передатчиков превышает 5 км для узлов сети, расположенных на городских улицах.

Заключение

Высокий энергетический бюджет канала связи в сочетании с малым собственным потреблением и широкими функциональными возможностями позволяют получить надеж-

ное решение для широкого спектра задач. Использование собственного метода модуляции LoRa приводит к увеличению максимальной дальности действия без потери качества связи и улучшению обнаружения полезного сигнала на фоне значительных шумов. Трансиверы Semtech способны обеспечить надежную работу беспроводной сети в условиях плотной городской застройки,

на промышленных предприятиях, линиях метрополитена и т. д.

Литература

1. Павлов Д. Однокристалльные радиочастотные приемопередатчики ISM-диапазонов // Современная электроника. 2005. № 1.
2. Wireless RF Solutions // Selector Guide. Oct. 2012 // www.semtech.com
3. SX1232: 868&915MHz Ultra Low Power High Link Budget Integrated UHF Transceiver // Datasheet. Aug. 2012 // www.semtech.com
4. SX1211: Ultra-Low Power Integrated UHF Transceiver // Datasheet. Feb. 2013 // www.semtech.com
5. SX1240: Low Cost Integrated Transmitter IC 434 MHz and 868 MHz Band RF Transmitter // Datasheet. Oct. 2010 // www.semtech.com
6. SX1257: RF Front-End Transceiver Low Power Digital I and Q RF Multi-PHY Mode Transceiver // Datasheet. Feb. 2012 // www.semtech.com
7. Schmidbauer H. Making the Right Trade-offs for Sensor Networks // www.semtech.com
8. SX1272/73: 860–1050 MHz Ultra Low Power Long Range Transceiver // Product Brief. Jul. 2012 www.semtech.com
9. Knapp J., Sornin N. A practical implementation of 6LoWPAN for metropolitan sized networks // www.semtech.com