

Решения компании Semtech

для беспроводной передачи данных

Часто при проектировании систем самого различного назначения возникает задача беспроводной передачи данных на расстояния от десятков метров до нескольких километров. Как правило, на аппаратном уровне для таких целей используются ISM (Industrial, Scientific, Medical) диапазоны частот, не требующие регистрации устройств при соблюдении определенных требований. Компания Semtech Corporation — один из лидеров в области разработки радиочастотных ISM-приемопередатчиков. В статье приведен обзор их основных характеристик, особое внимание уделено функциональным особенностям и преимуществам применения LoRa-трансиверов, рекордные показатели которых достигнуты благодаря одноименному методу модуляции.

Константин Верхулевский
info@icquest.ru

Введение

Беспроводная передача данных становится все более востребованной в повседневной жизни. Распространение устройств, обеспечивающих безопасную и надежную связь с удаленными объектами по радиоканалу, объясняется широкой номенклатурой доступных изделий, простотой и гибкостью их эксплуатации, легкостью монтажа. При организации беспроводного соединения выбор технологии связи зависит от множества факторов (области применения, топологии, загруженности сети и т. д.). Бывают ситуации, когда ни один из существующих стандартов беспроводной связи не удовлетворяет требованиям приложения разработчика. Специально для таких случаев во всем мире существует группа радиочастотных диапазонов, открытых для свободного использования [1].

Нелицензируемые радиочастотные ISM-диапазоны широко распространены в системах коммерческого учета, автоматизации и контроля

параметров удаленных объектов, управления производственными процессами и прочих бытовых и промышленных устройствах. Они не требуют оформления специальных разрешений и регистрации при соответствии технических характеристик проектируемого изделия определенным нормам, устанавливаемым регулируемыми органами. В России данным вопросом занимается Государственная комиссия по радиочастотам (ГКРЧ), действующим в настоящее время документом является ее решение № 07-20-03-001 от 07.05.2007 «О выделении полос радиочастот устройствам малого радиуса действия» (с последними изменениями на 11 сентября 2018 года). Согласно этому постановлению для устройств любого назначения (маломощных радиостанций, аппаратуры телеметрии, телеуправления, сигнализации, передачи данных и т. д.) предлагаются диапазоны частот, которые могут совершенно бесплатно использоваться при условии соблюдения требований по ширине полосы и излучаемой мощности (табл. 1).

Таблица 1. Основные диапазоны ISM-частот, разрешенные для использования в РФ

Частотный диапазон, МГц	Допустимые характеристики	Основание	Дополнительные условия использования
433,075–434,790	ЭИИМ 10 мВт (рабочий цикл не ограничен)	Приложение 1 к решению ГКРЧ № 07-20-03-001 от 07.05.2007	Без ограничений
864,0–865,0	ЭИИМ 25 мВт (рабочий цикл до 0,1%)	Приложение 11 к решению ГКРЧ № 07-20-03-001 от 07.05.2007	Запрещается использование в пределах аэропортов
866,0–868,0	ЭИИМ 25 мВт (рабочий цикл до 1%). Спектральная плотность мощности до 1000 мВт/МГц	Приложение 12 к решению ГКРЧ № 18-46-03-1 от 11.09.2018	Запрещается использование в пределах аэропортов
868,7–869,2	ЭИИМ 100 мВт (рабочий цикл до 10%)	Приложение 12 к решению ГКРЧ № 18-46-03-1 от 11.09.2018	Без ограничений
2400,0–2483,5	ЭИИМ 10 мВт (рабочий цикл не ограничен)	Приложение 1 к решению ГКРЧ № 14-29-01 от 20.11.2014	Без ограничений
5725,0–5875,0	ЭИИМ 25 мВт (рабочий цикл 0,1%)	Приложение 11 к решению ГКРЧ № 07-20-03-001 от 07.05.2007	Высота подвеса антенн не более 5 метров

Характеристики и особенности радиочастотной продукции Semtech

Линейка беспроводных устройств компании Semtech состоит из приемников, передатчиков и трансиверов, способных работать в стандартных ISM-диапазонах частот. Характерной чертой всех устройств является гибкость применения, внутренние конфигурационные регистры памяти позволяют динамически изменять рабочую частоту, ее девиацию, скорость передачи данных, тип модуляции, выходную мощность и многие другие параметры, а также устанавливать режимы работы всех периферийных блоков, что делает возможным использование одного и того же изделия для решения различных задач. Всю продукцию можно условно разделить на устройства общего назначения и специализированные, адаптированные для применения в LoRaWAN-сетях [2].

Беспроводные трансиверы общего назначения

Первую группу составляют микросхемы радиочастотной связи ближнего радиуса действия, работающие в УВЧ-диапазоне частот и обеспечивающие передачу данных на короткие и средние расстояния. Они широко применяются в различных бытовых и промышленных устройствах, позволяя организовывать беспроводные системы безопасности, мониторинга и домашней автоматизации. Работа ИС первой группы основана на частотной манипуляции (FSK, Frequency Shift Keying), гауссовской FSK (GFSK, Gaussian Frequency Shift Keying), манипуляции с минимальным частотным сдвигом (MSK, Minimum Shift Keying), гауссовской MSK (GMSK, Gaussian Minimum Shift Keying)

и амплитудной модуляции включением/выключением (OOK, On/Off Keying). Основные характеристики беспроводных устройств общего назначения показаны в табл. 2.

Серия SX121х, представленная приемником SX1213 и трансиверами SX1211 и SX1212, характеризуется минимальным собственным энергопотреблением (не более 3 мА в активном режиме, 100 нА в режиме сна) и оптимизирована для создания бюджетных решений с низкой стоимостью. К типовым сферам их применения относятся автономные узлы сбора данных и сети датчиков различного назначения. Рассматриваемые компоненты удовлетворяют требованиям стандартов, принятых в Европейском союзе (ETSI EN 300-220 V2.1.1) и в Северной Америке (часть 15.247 и 15.249 FCC). Однокристалльный приемник SX1213 и совместимый с ним повысочно-приемопередатчик SX1212 функционируют в диапазоне несущих частот 300–510 МГц. Они поддерживают скорость передачи данных 1,56–200 кбит/с при использовании частотной модуляции и до 32 кбит/с при OOK. Типовые значения чувствительности приема составляют –104 дБм для модуляции FSK (на скорости 25 кбит/с), –110 дБм для OOK (на скорости 2 кбит/с). Все радиочастотные характеристики программно настраиваемые и могут динамически изменяться с помощью SPI-интерфейса. Микросхемы данного семейства выпускаются в корпусах TQFN-32 с размерами 5×5 мм и могут эксплуатироваться при температурах –40...+85 °С.

Для примера на рис. 1 показана структурная схема приемника SX1213 с изображением основных блоков. Высокоинтегрированная архитектура позволяет минимизировать число

внешних компонентов, сохраняя при этом гибкость применения для разработчиков.

Приемник SX1213 реализован по супергетеродинной схеме [3]. Входной сигнал поступает на малошумящий усилитель (LNA), затем в смесителях последовательно подвергается двойному понижению частоты, фильтруется и усиливается до уровня, необходимого для FSK- или OOK-демодуляции. Генерация частот гетеродина осуществляется при помощи блока формирования частоты, состоящего из прецизионного синтезатора с системой фазовой автоподстройки (ФАПЧ), генератора, управляемого напряжением (ГУН), делителей частоты и фильтров. Для работы всего блока достаточно пяти внешних пассивных компонентов. Источником тактовых импульсов служит кварцевый резонатор на 12,8 МГц, подключаемый к выводам XTAL_P и XTAL_M. Дополнительный вывод CLKOUT предназначен для измерения значения рабочей частоты и ее программной корректировки при необходимости. Также он может выступать в качестве источника тактирования управляющего микроконтроллера, сокращая спецификацию конечного решения. Индикатор мощности принимаемого сигнала (RSSI) имеет динамический диапазон более 70 дБ и разрешение 0,5 дБ.

Помимо радиоприемного тракта, ИС SX1213 содержит битовый синхронизатор, используемый для обработки демодулированной последовательности и получения синхронизированных цифровых данных без шумовых выбросов. Блок контроля осуществляет взаимодействие между приемником и контроллером посредством интерфейса SPI, выводов IRQ_0, IRQ_1 и DATA. Его работа зависит от выбранного режима: непрерывного, буфе-

Таблица 2. Основные характеристики трансиверов общего назначения компании Semtech

Наименование	Тип	Диапазон рабочих частот, МГц	Выходная мощность, дБм	Тип модуляции	Максимальная скорость передачи, кбит/с	Чувствительность, дБм (макс.)	Бюджет канала связи, дБ (макс.)	Потребление тока в режиме передачи, мА	Потребление тока в режиме приема, мА	Корпус					
SX1208	TxRx	290–510	–18...+20	FSK/GFSK; MSK/GMSK; OOK	100 (FSK); 10 (OOK)	–124 (FSK); –122 (OOK)	144	33 (при Pout = 10 дБм)	16	QFN-24 (5×5 мм)					
SX1209		290–928			300 (FSK); 32 (OOK)	–120 (FSK); –112 (OOK)									
SX1211	Rx	863–960	–8,5...+12,5	FSK; OOK	200 (FSK); 32 (OOK)	–107 (FSK); –113 (OOK)	125,5	25 (при Pout = 10 дБм)	3	TQFN-32 (5×5 мм)					
SX1212		300–510				–104 (FSK); –110 (OOK)									
SX1213		–				–									
SX1230	Tx	290–1020	–18...+17	FSK/GFSK; MSK/GMSK; OOK	600 (FSK); 32 (OOK)	–	–	–	–	MLPQ-24 (4×4 мм)					
SX1231H	TxRx	290–1020	–18...+20		300 (FSK); 32 (OOK)	–120 (FSK); –112 (OOK)	140	33 (при Pout = 10 дБм)	16	QFN-24 (5×5 мм)					
SX1231J		424–1020	–18...+17								TSSOP-24 (9,7×4,4 мм)				
SX1231		290–1020													
SX1232		862–1020	–1...+20								28 (при Pout = 13 дБм)	9,3	QFN-24 (5×5 мм); QFN-28 (6×6 мм)		
SX1233		290–1020	–18...+17								33 (при Pout = 10 дБм)	16	QFN-24 (5×5 мм)		
SX1235		862–1020	–1...+20								28 (при Pout = 13 дБм)	9,3	QFN-28 (6×6 мм)		
SX1236		137–1020									29 (при Pout = 13 дБм)	12			
SX1238		863–928	–1...+27								158 (при Pout = 17 дБм)	25,3	MLPQ-40 (7×5 мм)		
SX1239		Rx	290–1020								–	–	–	16	QFN-24 (5×5 мм)
SX1243		Tx	310–928								0...+10	FSK; OOK	100 (FSK); 10 (OOK)	–	–

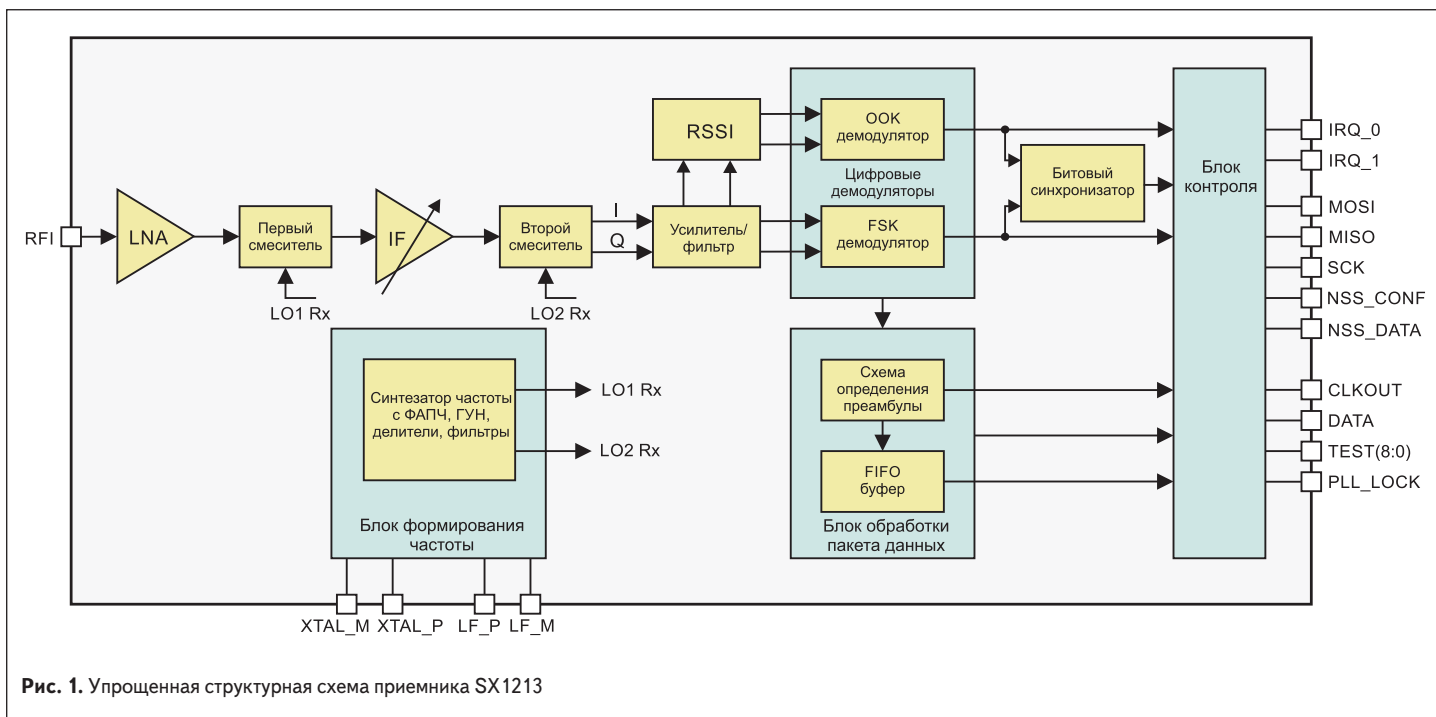


Рис. 1. Упрощенная структурная схема приемника SX1213

ризованного или пакетного. В первом из них каждый полученный бит данных в режиме реального времени появляется на выходе DATA. Во втором каждый принятый байт сохраняется в 64-байтном FIFO-буфере и затем передается по SPI-интерфейсу. При этом нагрузка на контроллер значительно снижается, а длина послыки не ограничивается. В пакетном режиме дополнительно задействуются схемы обнаружения преамбулы, CRC-проверки и обработки пакета данных, максимальная длина которого не должна превышать размера FIFO-буфера. Для питания микросхемы требуется источник постоянного тока с выходным напряжением 2,1–3,6 В. Необходимые для отдельных блоков уровни

напряжений (0,85, 1 и 1,4 В) обеспечиваются при помощи встроенных регуляторов.

Трансивер SX1212 имеет аналогичное строение приемной части, его передатчик обеспечивает выходную мощность –8,5...+12,5 дБм с программируемым шагом 3 дБ, в этом режиме собственное энергопотребление может возрастать до 25 мА. На рис. 2 приведена упрощенная структурная схема передающей части ИС SX1212. Здесь исходный сигнал переводится в аналоговую форму путем последовательного преобразования в блоках DDS, ЦАП и сглаживающих фильтров нижних частот [4]. Далее дважды осуществляется повышение частоты и усиление сигнала несущей. Приемный и передающий тракты ИС SX1212 используют один

и тот же вывод RFIO, в соответствующем режиме происходит отключение либо включение выходного усилителя мощности и интегрированного регулятора его питания.

Приемопередатчик SX1211 обладает низкой стоимостью и предназначен для функционирования в диапазонах 863–870, 902–928 и 950–960 МГц. От других устройств серии, помимо рабочих частот, отличается улучшенными показателями чувствительности: –107 дБм при скорости передачи данных 25 кбит/с (FSK) и –113 дБм при 2 кбит/с (OOK). Для оценки возможностей ИС SX1211 предлагается несколько вариантов демонстрационных плат, адаптированных под конкретные диапазоны частот. Например, на рис. 3 показан внешний

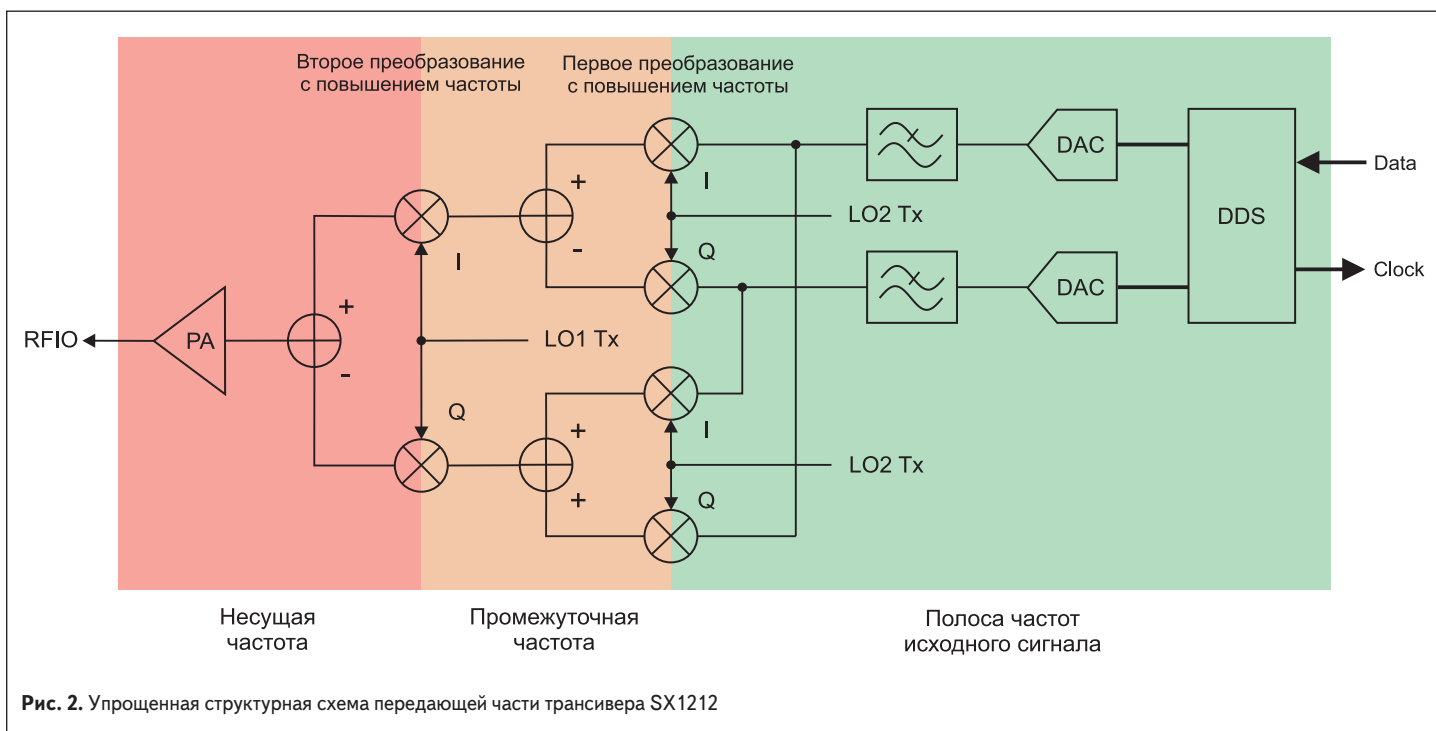


Рис. 2. Упрощенная структурная схема передающей части трансивера SX1212

вид SX1211SKA868 — модуля, включающего все необходимые для быстрого старта узлы. Кроме трансивера (1) и его пассивной обвязки он содержит керамическую антенну компании Johanson Technologies (2), посадочное место для опционального SMA-коннектора внешней антенны (3), светодиодную индикацию режимов работы (4), USB-разъем типа A (5) и FTDI-мост для подключения к ПК (6).

Следует в целом отметить наличие широкого набора аппаратных и программных средств Semtech, предлагаемых производителем и значительно облегчающих жизнь разработчику. Кроме того, для каждого изделия доступна подробная техническая документация, рекомендованные топологии печатных плат, перечни элементов с указанием номиналов, GUI для конфигурирования внутренних регистров.

Трансиверы SX1208 и SX1209 предназначены для организации узкополосных и широкополосных систем связи с двунаправленной передачей данных в диапазонах частот 290–510 и 290–928 МГц соответственно. К их типовым применениям относятся беспроводные датчики охранных и пожарных систем, устройства мониторинга и контроля, детекторы дыма, счетчики потребления энергоресурсов и т. д. Выходная мощность программируется в диапазоне –18...+20 дБм с шагом 1 дБ, с учетом максимальной чувствительности –124 дБм энергетический бюджет линии связи может достигать 144 дБ. Данные приемопередатчики поддерживают типы модуляции FSK, GFSK, MSK, GMSK и OOK, выбор конкретного метода основывается на компромиссе между пропускной способностью канала и требуемой дальностью связи. Также они обладают достаточно хорошими селективными свойствами.



Рис. 3. Внешний вид демонстрационной платы SX1211SKA868

Например, ИС SX1209 обеспечивает подавление помех по соседнему каналу 42 дБ, в сочетании с отличными показателями по интермодуляционным искажениям третьего порядка –18 дБм это позволяет получить устойчивое и надежное решение для различных условий эксплуатации. Конструктивно изготавливаются в низкопрофильных корпусах для поверхностного монтажа типа QFN-24 с внешними габаритами 5×5 мм.

Для интеграции основных функциональных узлов на одном кристалле и минимизации числа внешних компонентов при разработке инженерами компании Semtech была использована технология TrueRF. На рис. 4 представлены основные узлы ИС SX1208 [5].

Радиоприемный тракт реализован по схеме квадратурного преобразования, с целью упрощения проектирования применяется несимметричный входной сигнал. Сначала он подается на маломощный усилитель, охваченный цепью обратной связи для ав-

томатической регулировки усиления. Далее для устранения гармоник происходит его преобразование в дифференциальную форму, затем из сигнала промежуточной пониженной частоты, полученного в смесителе, выделяются синфазная и квадратурная составляющие, поступающие на два ΔΣ АЦП. Вся дальнейшая обработка (фильтрация, демодуляция и т. д.) выполняется над сигналом, представленным в цифровом виде. Подавление зеркального канала осуществляется за счет квадратурного преобразования. Из полезных функций стоит отметить встроенный блок сверхбыстрой автоподстройки частоты (AFC) и наличие схемы индикации уровня принимаемого сигнала с широким динамическим диапазоном 127 дБм. Параметры канального фильтра 16-го порядка с конечной импульсной характеристикой (КИХ), используемого для устранения шумов и интерференционных составляющих, зависят от выбранного типа модуляции, его рабочая полоса задается в пределах 2,6–250 кГц. В режиме передачи сигнал гетеродина модулируется с помощью цифрового модулятора, после чего усиливается и подается выход. Доступно три усилителя мощности: первый, соединенный с выводом RFIO, обеспечивает усиление до +13 дБм, PA1 и PA2, подключенные к PA_BOOST, при использовании рекомендованной согласующей цепи могут выдавать до +20 дБм (100 мВт). Для упрощения согласования с антенной выход сделан несимметричным, его встроенная защита от перегрузки по току блокирует передатчик при превышении максимальных уровней мощности. Прецизионный синтезатор частоты с ФАПЧ, имеющий дробный коэффициент деления, служит для получения опорного сигнала с разрешением 61 Гц, используемого

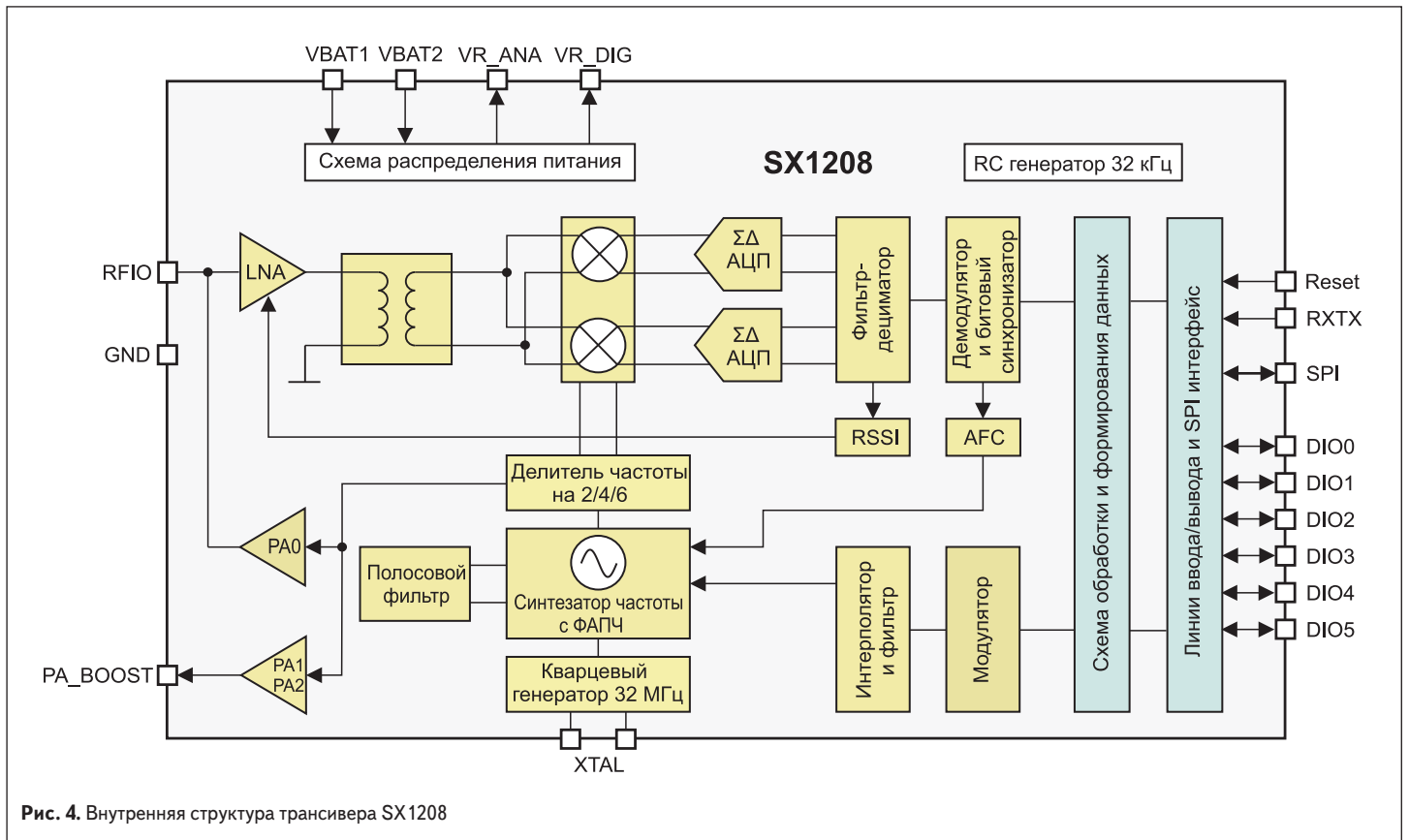


Рис. 4. Внутренняя структура трансивера SX1208

Таблица 3. Основные характеристики LoRa-трансиверов компании Semtech

Наименование	Диапазон рабочих частот, МГц	Выходная мощность, дБм	Скорость передачи при использовании модуляции LoRa, кбит/с	Чувствительность, дБм (макс.)	Бюджет канала связи, дБ (макс.)	Потребление тока в режиме передачи, мА	Потребление тока в режиме приема, мА (макс.)	Корпус
SX1272	860–1020	-1...+20	0,24–37,5	-123 (FSK); -137 (LoRa)	157	28 (при Pout = 13 дБм)	11,2	QFN-28 (6×6 мм)
SX1273			1,7–37,5	-123 (FSK); -130 (LoRa)	150			
SX1276	137–1020		0,018–37,5	-123 (FSK); -148 (LoRa)	168	29 (при Pout = 13 дБм)	12	
SX1277	137–1020		0,11–37,5	-123 (FSK); -139 (LoRa)	159			
SX1278	137–525		0,018–37,5	-123 (FSK); -148 (LoRa)	168			
SX1279	137–960		0,018–37,5					
SX1261	150–960	-1...+15	0,018–62,5	-123 (FSK); -148 (LoRa)	163	39 (при Pout = 14 дБм)	4,6	QFN-24 (4×4 мм)
SX1262		-1...+22		-123 (FSK); -148 (LoRa)	170	32 (при Pout = 14 дБм)		
SX1268	410–810			-123 (FSK); -148 (LoRa)				
SX1280	2400–2500	-18...+12,5	0,476–200	-123 (FSK); -132 (LoRa)	144,5	24 (при Pout = 12,5 дБм)	<5	
SX1281								

для обеспечения работы отдельных узлов приемника и передатчика. Схема обработки и формирования данных организует взаимодействие между модулятором/демодулятором и внешним управляющим контроллером. Также допускается функционирование трансивера в автономном режиме. В этом случае встроенный программируемый автомат состояний задает последовательность и условия перехода между режимами работы по заранее заданному алгоритму. Временные интервалы автомата состояний (64 мкс, 4,1 мс или 262 мс) устанавливаются при помощи двух встроенных таймеров. Среди дополнительных полезных функций можно отметить наличие встроенного датчика температуры и индикатора пониженного напряжения питания, генерирующего сигнал прерывания при достижении заданного порога.

Практически по аналогичной схеме, но с некоторыми отличиями построены компоненты семейства SX123x. Сочетающие в себе компактные размеры, низкое энергопотребление и хорошие показатели бюджета канала связи, они становятся отличным выбором при создании беспроводных устройств широкого спектра назначения. Здесь наибольший интерес представляют новинки — трансиверы SX1236 и SX1238. Ключевой особенностью SX1236 является возможность организации двух независимых каналов с разными несущими частотами в диапазоне 137–1020 МГц. Для этого в структуру микросхемы внедрены два отдельных синтезатора частот, первый из них рассчитан на диапазон до 525 МГц, второй — на генерирование частот выше 868 МГц. С учетом низкого собственного потребления (12 мА в режиме приема и 200 нА в режиме сохранения данных в регистрах) SX1236 подходит для M2M-применений с батарейным питанием. Высокая избирательность сигнального тракта (подавление соседнего канала до 60 дБ, зеркального канала до 50 дБ, интермодуляционные искажения третьего порядка –11 дБм) позволяет использовать данный трансивер в самых трудных условиях, в том числе при высоком уровне канальных помех и плотном размещении узлов. Приемопередатчик SX1236 также соответствует требованиям WMBus,

IEEE 802.15.4g и ряда других регулирующих стандартов.

Основная отличительная черта приемопередатчика SX1238 — наличие интегрированного front-end-блока, состоящего из выходного усилителя мощности и входного малошумящего предусилителя. Использование такого подхода оптимизирует размеры и технические характеристики конечного решения. В частности, полученная в результате максимальная выходная мощность +27 дБм позволяет при необходимости повысить бюджет канала связи до 151 дБ.

LoRa-трансиверы

Одно из современных направлений развития технологий связи — разработка малопотребляющих сетей передачи данных, объединяющих компактные устройства с большим радиусом действия. Особую популярность в последнее время приобретают сети LoRaWAN (Long Range Wide Area Networks), позиционируемые в качестве решения для «Интернета вещей». На физическом уровне в основе LoRaWAN-сетей лежит использование запатентованного компанией Semtech метода модуляции LoRa (от англ. Long Range), представляющего собой разновидность метода расширения спектра, при котором данные кодируются линейно-частотно модулированными (ЛЧМ) импульсами с частотой, увеличивающейся или уменьшающейся на некотором временном интервале. Технология LoRa позволяет осуществлять демодуляцию сигналов с уровнями на 20 дБ ниже уровня шумов, обеспечивает рекордные показатели бюджета канала связи за счет значительного повышения чувствительности приемника и отличается низкой критичностью к расстройке по частоте между передатчиком и приемником.

Линейка трансиверов компании Semtech, выпускаемая под торговой маркой LoRa, в настоящее время насчитывает 11 моделей (табл. 3). Наибольшее распространение получили ИС серии SX127x, появившиеся на рынке электронных компонентов еще пять лет назад. Подавляющее большинство доступных сейчас LoRa-модулей, применяемых в оконечных узлах сетей LoRaWAN, изготовлено именно на их основе. Серии SX127x посвящено множество

публикаций и руководств по применению [6], в сети несложно найти примеры кода, поэтому далее стоит основное внимание уделить новинкам, которые были представлены в 2018 году.

Серия высокоинтегрированных ИС SX126x состоит из трех приемопередатчиков. Однотипные SX1261 и SX1262, работающие в диапазоне частот 150–960 МГц, а также SX1268 с рабочими частотами 410–810 МГц полностью соответствуют требованиям регламентирующих стандартов ETSI EN 300 220, FCC CFR 47 Part 15 и ARIB T-108. Они отличаются друг от друга, прежде всего, максимальным уровнем выходной мощности: +15 дБм с программируемым шагом 1 дБ у SX1261 и до +22 дБм у SX1262 и SX1268. На рис. 5 для примера изображена внутренняя структура SX1261, здесь можно выделить четыре основные части: аналоговый блок преобразования входного или выходного сигнала, блок цифровых модемов, блок управления питанием, а также блок контроля, обеспечивающий обработку полезных данных и конфигурирование внутренних параметров посредством цифровых интерфейсов связи [7].

Питание микросхем осуществляется от источника постоянного тока с напряжением 1,8–3,7 В, встроенные DC/DC- или линейные LDO-регуляторы служат для получения требуемых для отдельных узлов значений напряжения. Серия SX126x выгодно отличается низким собственным потреблением, например, в режиме приема при LoRa-модуляции и ширине полосы канала 125 кГц оно составляет всего 4,6 мА (при использовании DC/DC-преобразователя) или 8,8 мА при питании от LDO-стабилизатора.

Синтезатор с ФАПЧ и дробным коэффициентом деления частоты, имеющий функцию автокалибровки и малое время запуска (40 мкс), обеспечивает функционирование как приемного, так и передающего тракта. Его шаг частоты составляет 0,95 Гц. Помимо внешнего термостабилизированного генератора или внешнего кристалла кварца, рассчитанного на частоту 32 МГц, в качестве источника тактовых импульсов можно использовать внутренние RC-генераторы на 64 кГц (для периодического вывода трансивера из режима сна) и 13 МГц (для синхронизации работы SPI-интерфейса).

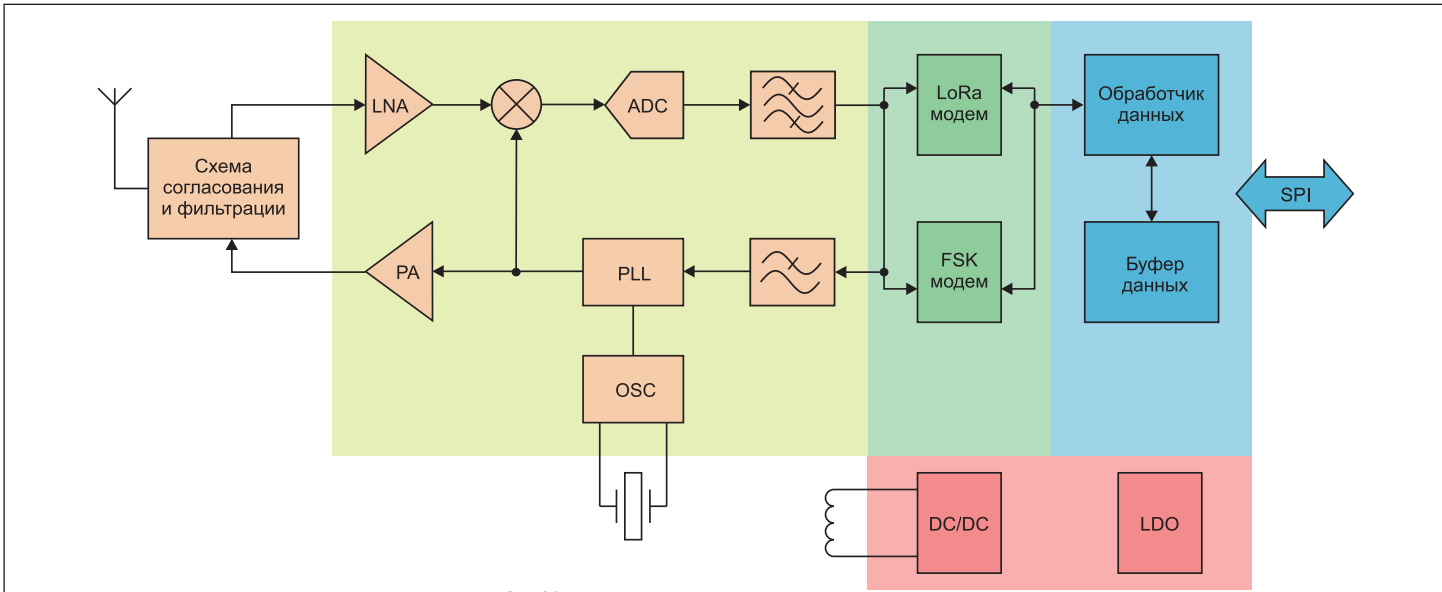


Рис. 5. Упрощенная внутренняя структура трансивера SX1261

Так как при создании серии в качестве базовой модели был использован трансивер SX1232, схемы приемника и передатчика во многом повторяют структуру предшественника. При приеме используется квадратурное преобразование, интегрированный $\Delta\Sigma$ АЦП с динамическим диапазоном более 80 дБ выполняет перевод сигнала в цифровой вид и в зависимости от выбранного метода модуляции он подается на FSK- или LoRa-модемы. При FSK- или GFSK-модуляции гарантируется скорость передачи данных 0,6–300 кбит/с, LoRa-модуляция рассчитана на более низкую пропускную способность (0,018–62,5 кбит/с).

Ключевым узлом для реализации преимуществ LoRa является соответствующий блок модулятора/демодулятора. Для оптимизации работы трансивера необходимо задать следующие характеристики: коэффициент расширения (5–12), полосу модуляции (10 стандартных значений в диапазоне 7,8–500 кГц) и скорость кодирования для коррекции ошибок. Эти параметры позволяют найти желаемое сочетание между бюджетом канала связи, устойчивостью к помехам и скоростью передачи данных.

Усилитель мощности в схеме передатчика запитывается от своего встроенного регулятора, на рис. 6 показаны отличия схем управления

питанием ИС SX1261 и SX1262, соединение VDD_IN непосредственно с батареей позволяет увеличить уровень выходной мощности до +22 дБм.

Микросхемы трансиверов SX1280 и SX1281, обеспечивающие большой радиус действия при использовании несущей частоты 2,4 ГГц, способны надежно функционировать при высоком уровне интерференционных помех. Компоненты серии SX128x совместимы с технологией BLE, имеют достаточно высокий уровень чувствительности (–132 дБм), выходную мощность передатчика –18...+12,5 дБм и поддерживают виды модуляции LoRa, FLRC

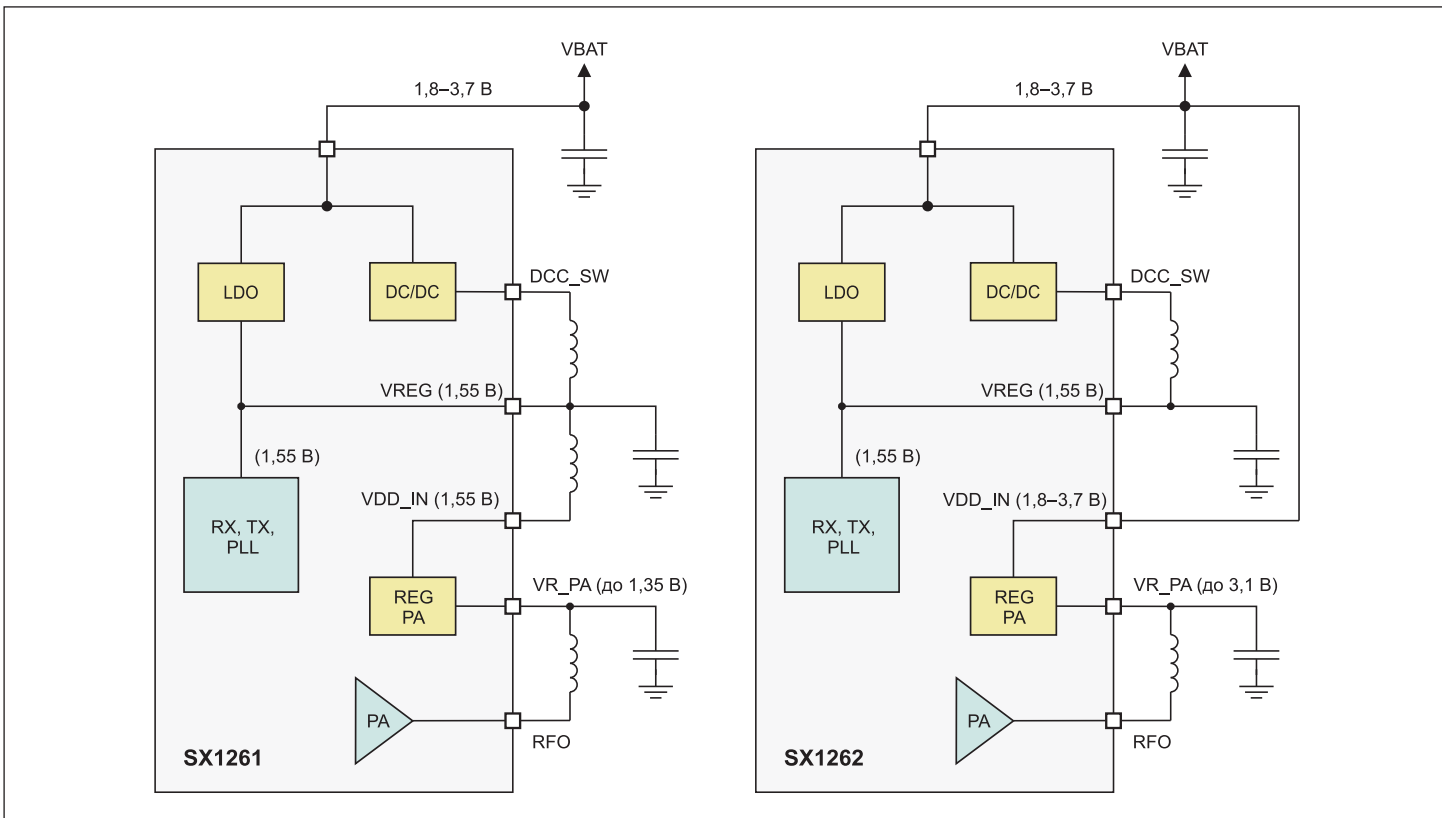


Рис. 6. Схемы управления питанием трансиверов SX1261 и SX1262

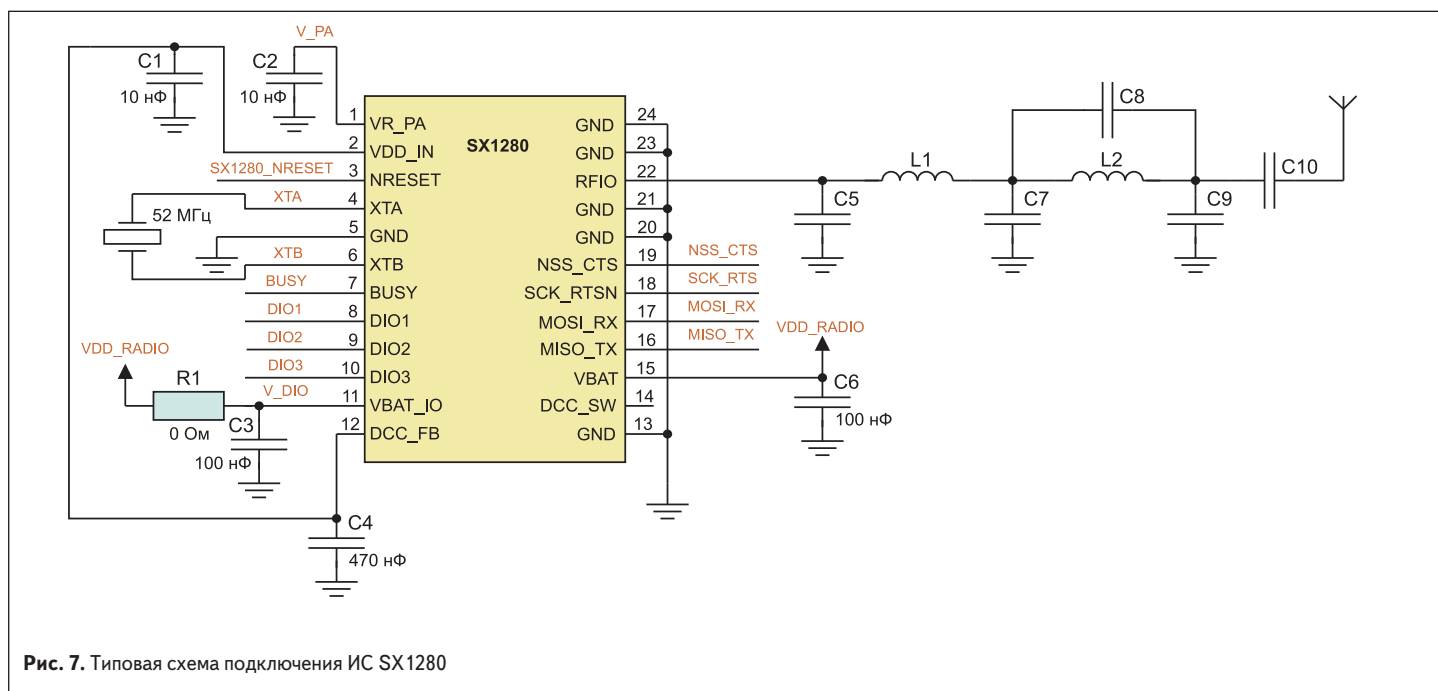


Рис. 7. Типовая схема подключения ИС SX1280

и FSK/GFSK. Кроме того, ИС SX1281 отличается возможностью локализации и отслеживания местоположения беспроводного узла сети без применения дополнительных технических средств типа GPS/ГЛОНАСС. Эта функция, предназначенная для измерения координат людей, домашних животных, радиоуправляемых квадрокоптеров, спортивных трекеров, промышленных устройств и т. д., реализована при помощи метода измерения времени прохождения (ToF, Time of Flight) сигналов от нескольких узлов. На рис. 7 изображена типовая схема подключения ИС SX1280 [8].

Внутренняя структура устройств аналогична микросхемам серии SX126x, схемы приемника и передатчика работают на одну антенну. Блок модемов, расширенный за счет дополнительного FLRC-канала, снабжен цифровой автоматической регулировкой частоты. Работа FLRC-модема основывается на когерентной демодуляции GMSK-сигнала в совокупности с использованием прямой коррекции ошибок и принципа чередования бит. Данная технология помогает повысить бюджет канала связи примерно на 8–10 дБ по

сравнению с FSK при такой же скорости передачи данных. В качестве интерфейса связи с управляющим контроллером наряду с SPI возможно использование UART.

Для оценки возможностей трансиверов серии выпускаются отладочные комплекты с поддержкой Arduino и совместимостью с платами Nucleo компании ST Microelectronics. На рис. 8а показан внешний вид демонстрационной платы с ИС SX1280, на рис. 8б — она же совместно с входящими в комплект поставки сенсорным экраном и Nucleo-L476RG. Прилагаемое ПО включает ряд тестовых примеров и утилиты для настройки параметров связи (рис. 8в).

Заключение

Выпускаемая компанией Semtech линейка радиотрансиверов отличается гибкостью применения, отличными функциональными возможностями и большим разнообразием доступных моделей. Бюджетные серии с модуляциями типа FSK/GFSK, MSK/GMSK или OOK предназначены для домашней автоматизации, использования в обслуживании дистанционного мониторинга

и контроля, охранно-пожарных системах и т. д. Производительные семейства LoRa-изделий, реализующие на аппаратном уровне преимущества одноименного метода модуляции, обеспечивают надежный двусторонний канал связи и могут быть полезны при организации как проприетарных, так и стандартизированных энергоэффективных сетей передачи данных. Хорошая техническая поддержка, оценочные комплекты практически для каждого компонента, рекомендованные топологии печатных плат — все это в совокупности способствует повышению скорости разработки конечного устройства. ■

Литература

1. Аникин А. Обзор современных технологий беспроводной передачи данных // Беспроводные технологии. 2011. № 4.
2. Wireless & RF Solutions. Selection Guide. 2018. www.semtech.com/uploads/design-support/SG-SEMTECH-WIRELESSRF.pdf
3. SX1213 — ultra low power integrated UNF receiver. Datasheet, rev. 2, July 2009. www.semtech.com/uploads/documents/sx1213.pdf
4. SX1212 — ultra low power integrated 300–510 MHz transceiver. Datasheet, rev. 2, June 2009. www.semtech.com/uploads/documents/sx1212.pdf
5. SX1208 — low power integrated UNF transceiver. Datasheet, rev. 2, April 2015. www.semtech.com/uploads/documents/sx1212.pdf
6. LoRa-модем SX1272/3/6/7/8: руководство проектировщика. Application note. 2014. www.icquest.ru/?section=4&id=63
7. SX1261/2 — long range, low power, sub-GHz RF transceiver. Datasheet, rev. 1.1. December 2017. www.semtech.com/uploads/documents/DS_SX1261-2_V1.1.pdf
8. SX1280/SX1281 — long range, low power, 2,4 GHz transceiver with ranging capability. Datasheet, rev. 2.2. May 2018. www.semtech.com/uploads/documents/DS_SX1280-1_V2.2.pdf



Рис. 8. Внешний вид демонстрационной платы SX1280 (а), комплекта в сборке (б) и главного окна встроенного ПО (в)