

# Новинки компании Semtech

## для технологии LoRa

Компания Semtech, как активный участник организации LoRa Alliance, постоянно работает над улучшением ключевых характеристик и расширением функциональных возможностей LoRa-изделий. Статья посвящена новым ИС, предназначенным для использования в узлах малопотребляющих сетей LoRaWAN. Приведен обзор их типовых параметров и описано взаимодействие основных блоков в различных режимах работы.

Константин Верхулевский  
info@icquest.ru

### Введение

Корпорация Semtech — ведущий производитель высококачественных аналоговых и аналого-цифровых интегральных схем, рекомендованных для использования в системах беспроводной и оптоволоконной связи, потребительской электронике, устройствах «Интернета вещей», информационно-вычислительных центрах, высоконадежном промышленном оборудовании, устройствах военного и аэрокосмического назначения и во многих других применениях. Более 5000 крупных потребителей по всему миру при производстве своей аппаратуры рассчитывают на продукцию компании [1]. Имея за плечами более чем 60-летний опыт разработки, Semtech предлагает одну из самых сбалансированных линеек продукции. В настоящее время для заказчиков доступно огромное количество компонентов, в том числе:

- Полупроводниковые устройства, разработанные для защиты чувствительных цепей от электростатических разрядов (ESD), от быстрых электрических переходных про-

цессов (EFT), вызванных ударами молний, от перенапряжений в линиях связи (CDE) и других деструктивных воздействий. Данная группа объединяет ЕМI-фильтры, дискретные TVS-диоды и специализированные сборки, ориентированные на работу с интерфейсами Ethernet, HDMI, HD-SDI, LVDS, RS-232, RS-485, USB, xDSL и многими другими. Характеризуются низкой вносимой емкостью, малыми токами утечки и широким диапазоном рабочих напряжений.

- ИС и модули для организации беспроводной зарядки. Контроллеры, трансиверы и приемники, выпускаемые под торговой маркой LinkCharge, полностью соответствуют требованиям спецификаций Qi и Airfuel.
- Группа интеллектуальных сенсоров. Включает миниатюрные малопотребляющие микросхемы контроллеров резистивных и емкостных сенсорных экранов, SAR-датчиков и датчиков приближения, широко применяемых в мобильных телефонах, GPS-навигаторах и другой портативной электронике.

Т а б л и ц а . Основные характеристики субгигагерцевых 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 P <sub>out</sub> = 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 P <sub>out</sub> = 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	–123 (FSK); –148 (LoRa)	168			
SX1261	150–960	–1...+15	0,018–62,5	–123 (FSK); –148 (LoRa)	163	39 (при P <sub>out</sub> = 14 дБм)	4,6	QFN-24 (4×4 мм)
SX1262		–1...+22		–123 (FSK); –148 (LoRa)	170	32 (при P <sub>out</sub> = 14 дБм)		
SX1268	410–810			–123 (FSK); –148 (LoRa)				
LLCC68	150–960	–1...+22	1,76–62,5	–123 (FSK); –129 (LoRa)	151	32 (при P <sub>out</sub> = 14 дБм)	4,6	QFN-32 (5×5 мм)
LR1110				–123 (FSK); –144 (LoRa)	168	28 (при P <sub>out</sub> = 14 дБм)	5,7	

- ИС управления питанием представлены полнофункциональными LED-драйверами, ШИМ-контроллерами, LDO-регуляторами, импульсными DC/DC-преобразователями напряжения, драйверами управления MOSFET, силовыми ключами, интеллектуальными твердотельными коммутаторами и т. д. Наряду с защитными устройствами это одна из наиболее обширных групп продукции.
- ИС для передачи данных по оптическим сетям связи с пропускной способностью до 400 Гбит/с. Поддерживают все распространенные стандарты, такие как Fibre Channel, InfiniBand, Ethernet, CPRI, PON, OTN, SONET и PCI Express. Основу группы составляют драйверы лазеров, оптические трансиверы, ограничивающие и трансимпедансные усилители, формирователи сигналов, микросхемы восстановления тактовых импульсов и т. д.
- Коммуникационные ИС для систем видеотрансляции. Содержат конфигурируемые решения (кабельные передатчики, эквалайзеры, коммутаторы, сериализаторы/десериализаторы, реклоеры и т. д.) для работы с HD-, UHD/4K-, HDR-, HFR- и WCG-платформами.
- Высоконадежные дискретные компоненты и модули на их основе. Данная группа предназначена для жестких условий эксплуатации и состоит из выпрямительных диодов, TVS-супрессоров, стабилитронов в различном корпусном исполнении, высоковольтных диодных сборок, одно- и трехфазных диодных мостов и т. д. Они идеально подходят для применения в оборудовании аэрокосмического, военного и высоконадежного промышленного назначения.
- ИС беспроводной связи. Линейка беспроводных устройств состоит из приемников, передатчиков и трансиверов, способных работать в стандартных ISM-диапазонах частот (от десятков кГц до 2,4 ГГц).

В последней группе особого внимания заслуживают микросхемы, необходимые для построения оконечных узлов и базовых станций сетей LoRaWAN и выполненные с применением запатентованного компанией Semtech метода модуляции LoRa. Его использование позволяет добиться увеличения дальности действия в 10 раз и уменьшения энергопотребления в 3 раза по сравнению с традиционным FSK-способом. Наибольшее распространение получили ИС серии SX127x, появившиеся на рынке электронных компонентов еще в 2013 году. В настоящее время подавляющее большинство серийно выпускаемых LoRa-модулей, реализующих функции оконечных узлов, изготовлено именно на их основе [2, 3]. Продукцию данного типа предлагают, например, такие известные компании, как Multitech, IMST, Nemeus, Link Labs, Embit и HopeRF. Спустя несколько лет с целью увеличения максимального бюджета канала связи линейка была расширена за счет устройств серии SX126x, обладающих чувствительностью до  $-148$  дБм и выходной мощностью до  $+22$  дБм (табл.). Из прошлогодних новинок необходимо отметить трансиверы субгигагерцевого диапазона LLCC68 и LR1110.

До недавнего времени промышленно выпускаемые базовые станции сетей LoRaWAN использовали в основном связку многоканальных концентраторов SX1301/SX1308 и трансиверов SX1255, SX1257 или SX1258, отвечающих за радиочастотную часть. Данная группа в конце 2019 года была дополнена микросхемами SX1302 и SX1250.

### LoRa-трансивер LLCC68

LoRa-приемопередатчик субгигагерцевого диапазона LLCC68 оптимизирован для применения в устройствах с батарейным питанием. Построенный на основе трансивера SX1262 на аппаратном уровне, он соответствует микросхемам серии SX126x. Потребляет всего 600 нА в спящем режиме, 4,6 мА в режиме приема (при LoRa-модуляции и ширине полосы канала 125 кГц) и может обеспечивать выходную мощ-

ность до  $+22$  дБм благодаря высокоэффективным встроенным усилителям. С учетом высокой чувствительности (до  $-129$  дБм) расчетный бюджет канала связи трансивера достигает 151 дБ. Трансивер LLCC68 совместим с существующими сетями LoRaWAN, а также может работать с проприетарными протоколами, используя, помимо LoRa, модуляцию типов FSK, GFSK, MSK и GMSK. При FSK-модуляции гарантируется скорость передачи данных до 300 кбит/с, LoRa-модуляция рассчитана на более низкую пропускную способность (1,76–62,5 кбит/с). Широкая полоса рабочих частот 150–960 МГц позволяет поддерживать все основные ISM-диапазоны, разрешенные в различных странах. LLCC68 полностью соответствует требованиям регламентирующих стандартов ETSI EN 300 220, FCC CFR 47 (часть 15) и ARIB T-108.

На рис. 1 показана упрощенная внутренняя структура трансивера LLCC68. В зависимости от функционального назначения можно выделить четыре составные части: приемопередающий ВЧ-тракт, объединенный со схемами преобразования сигналов и источниками тактовых частот, блок цифровых модемов для реализации выбранного способа модуляции, блок питания, цифровой блок управления, обеспечивающий формирование и передачу пакета полезных данных, а также конфигурирование внутренних регистров посредством интерфейса связи SPI. Все конструктивные узлы размещены в малогабаритном корпусе QFN-24 с размерами всего  $4 \times 4 \times 1$  мм.

Радиоприемный тракт реализован по схеме квадратурного преобразования, позволяющей получить улучшенные характеристики трансивера в плане чувствительности и избирательности по сравнению со схемой прямого преобразования. Он характеризуется хорошими селективными свойствами (численные показатели указаны для модуляции LoRa): подавление помех по соседнему каналу 65 дБ (при ширине полосы 125 кГц), динамический диапазон по блокированию 80 дБ (при отстройке

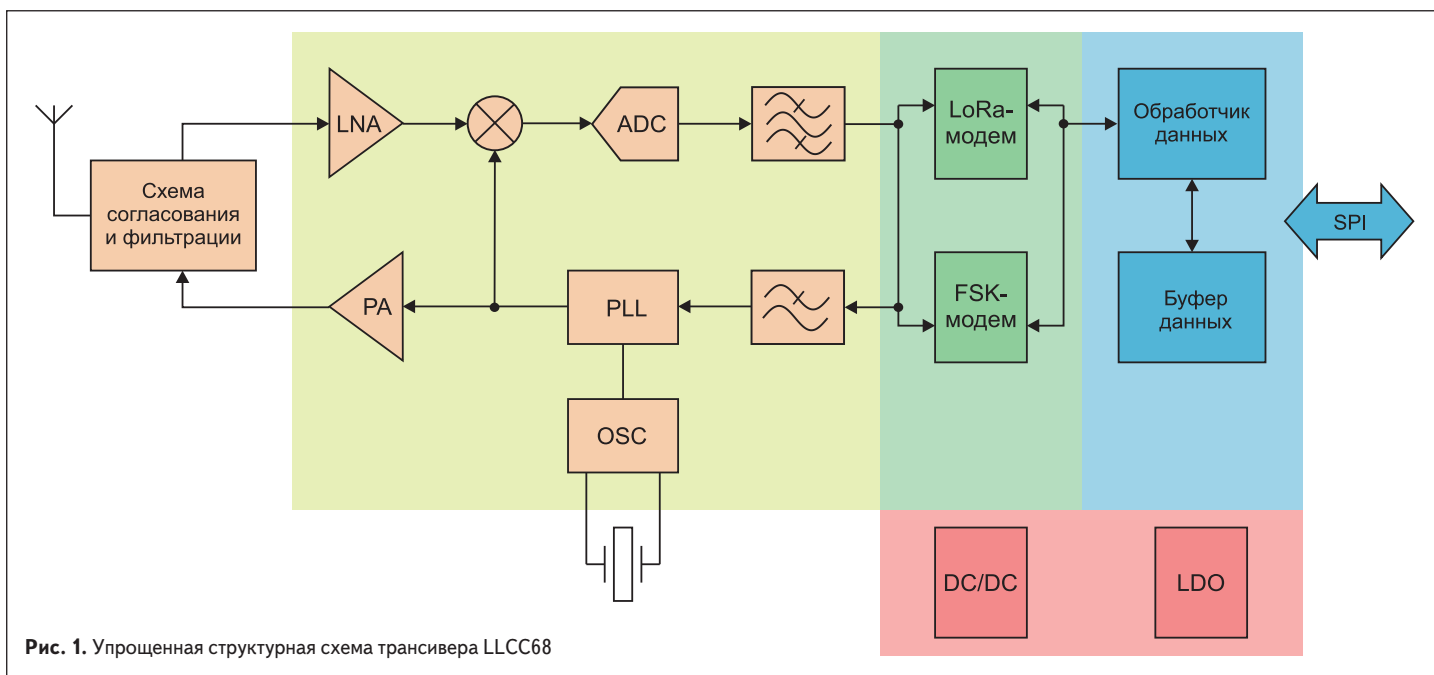
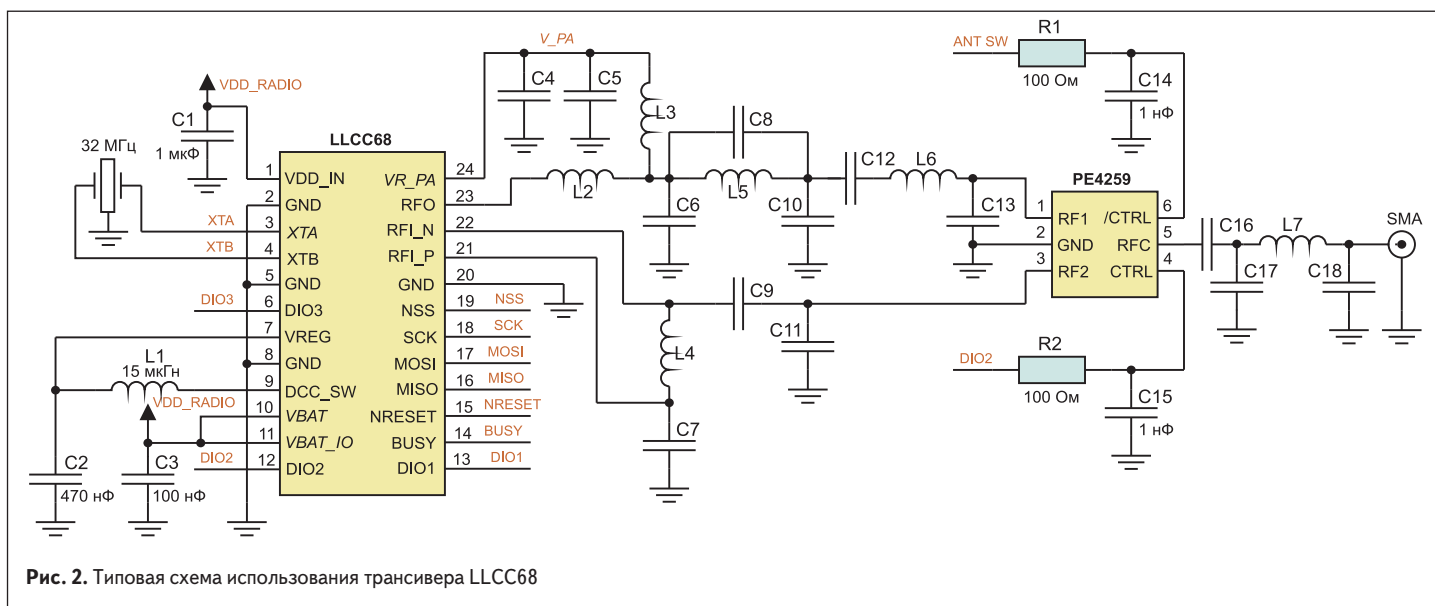


Рис. 1. Упрощенная структурная схема трансивера LLCC68



на  $\pm 1$  МГц) и 91 дБ (при  $\pm 10$  МГц), подавление зеркального канала 54 дБ.

Принимаемый сигнал сначала подается на маломощный усилитель, для упрощения проектирования и минимизации количества внешних компонентов используется несимметричный вход. Для устранения гармоник производится преобразование сигнала в дифференциальную форму, а при помощи смесителя — перевод на пониженную промежуточную частоту. Затем синфазная и квадратурная составляющие сигнала промежуточной частоты поступают на сигма-дельта-АЦП, обладающий динамическим диапазоном более 80 дБ. Дальнейшая обработка (фильтрация, децимация и т. д.) выполняется над сигналом, представленным в цифровом виде. Затем выполняется демодуляция полученного сигнала, в зависимости от выбранного метода используются FSK- или LoRa-модемы. Для оптимизации работы трансивера в режиме LoRa-модуляции задается коэффициент расширения спектра SF (5–12), ширина полосы частот (125, 250 или 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. Блок управления пакетами данных, используемый совместно

с 256-байтным буфером, автоматизирует процесс приема, передачи и обработки данных (генерацию преамбулы, вставку и обнаружение синхрослова, проверку адреса, гибкий выбор длины пакета и т. д.).

При передаче данных сигнал гетеродина модулируется с помощью цифрового модулятора, после чего усиливается и подается на выход. По умолчанию выходная мощность устанавливается на максимальном уровне +22 дБм и может регулироваться в широком диапазоне с шагом 1 дБ. Усилитель мощности в схеме передатчика запрашивается от отдельного регулятора напряжения. Ток потребления в режиме передачи вырастает, например, при выходной мощности +14 дБм он составляет 32 мА. Питание всего трансивера 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.

Синтезатор с ФАПЧ и дробным коэффициентом деления частоты, отличающийся наличием функции автокалибровки, малым временем запуска (40 мкс) и шагом частоты от 0,95 Гц, обеспечивает функционирование как приемного, так и передающего тракта. В качестве источника тактовых импульсов применяется внешний термостабилизированный генератор или обычный кварцевый резонатор, каждый из которых рассчитан на частоту 32 МГц. Внутренние RC-генераторы на 64 кГц и 13 МГц рекомендованы для организации периодического радиообмена и синхронизации работы SPI-интерфейса соответственно.

На рис. 2 представлена типовая схема подключения трансивера LLCC68. На ее основе производятся отладочные платы, рассчитанные на несущие частоты 490, 868 и 915 МГц.

Они выпускаются в виде модулей с необходимыми для конкретного диапазона номиналами радиочастотных компонентов и разъемами для подключения внешних управляющих контроллеров. Внешний вид одной из таких плат показан на рис. 3.

## Трансивер LR1110

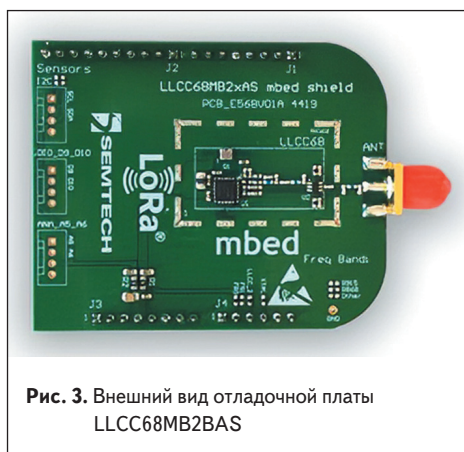
Новый трансивер LR1110, предлагаемый под торговой маркой LoRa Edge, является универсальной программно-определяемой радиосистемой (SDR), предназначенной для упрощения и ускорения внедрения приложений «Интернета вещей». Однокристальное решение, помимо обычного приемопередатчика LoRa с диапазоном рабочих частот 150–960 МГц, оснащено навигационным чипом для получения геолокации от спутниковых систем GNSS (GPS/BeiDou), а также пассивным Wi-Fi-сканером стандарта 802.11b/g/n. Основное преимущество LR1110 — сверхнизкое энергопотребление по сравнению с аналогичными решениями от других производителей. Например, в спящем режиме трансивер потребляет не более 2 мкА, с подключенным GNSS-узлом примерно 6 мА, а с Wi-Fi-модулем до 12 мА (при номинальном напряжении питания 3,6 В).

На рис. 4 представлена упрощенная структурная схема трансивера с указанием основных узлов. Радиочастотная LoRa-часть имеет строение, аналогичное ИС LLCC68. Чувствительность приемника достигает  $-144$  дБм, входные сигналы сети LoRaWAN подаются на маломощный усилитель LNA LF0. В тракте передачи доступно два усилителя, обеспечивающих выходную мощность до +15 дБм и до +22 дБм и подключенные к выводам RFO\_LP\_LF и RFO\_HP\_LF соответственно. В режиме GNSS-сканирования принимаемые сигналы проходят через внешние согласующие цепи, рассчитанные на частоты 1,57542 ГГц (GPS) или 1,5611 ГГц (BeiDou), и поступают на входной усилитель LNA LF1.

При Wi-Fi-подключении используется стандартная рабочая частота 2,45 ГГц, поэтому согласующие цепи являются интегрированными.

Синтезатор с фазовой автоподстройкой частоты генерирует сигналы в широком диапазоне 150–2700 МГц, достаточном для обеспечения должного функционирования всех узлов LR1110. В качестве источников тактовых сигналов применяются:

- Встроенный низкочастотный RC-генератор на 32,768 кГц (LF RC), опционально ис-



пользуемый часами реального времени (RTC).

- Низкочастотный кварцевый генератор (LF XOSC) с внешним кристаллом на 32,768 кГц. Может синхронизироваться с дополнительным внешним источником путем использования входа DIO11.
- Высокочастотный (32 МГц) генератор (HF RC) с интегрированной RC-цепочкой. Позволяет выполнить конфигурирование микросхемы посредством SPI без подключения основного кристалла.
- Высокочастотный (32 МГц) кварцевый генератор (HF XOSC), используемый для организации работы всех радиоканалов.

ИС LR1110 имеет 12 цифровых конфигурируемых входов/выходов общего назначения, обычно применяемых для подключения датчиков и периферийных устройств, обработки внешних прерываний и управления антенными переключателями. Аппаратный криптографический модуль служит для защиты информации и поддерживает операции шифрования/дешифрования по алгоритму AES-128. Конструктивно трансивер изготавливается в малогабаритном пластиковом 32-выводном корпусе QFN с размерами всего 5×5 мм. Диапазон рабочих температур — промышленный (−40...+85 °C).

В режиме GNSS-геолокации LR1110 сканирует доступные спутники и передает полученные данные посредством LoRaWAN-сети на сервер и далее в облачное хранилище, где определяется широта, долгота и высота над уровнем моря заданного

модуля. Для ускорения процесса и минимизации потребления трансивера необходимо использовать предварительно загруженную информацию о местоположении сети спутников, примерном расположении устройства и текущем времени. Облачный сервис предоставляется компанией Semtech, также провайдеры могут применять свои облачные хранилища.

Wi-Fi-геолокация работает похожим образом: трансивер пассивно сканирует окружающее пространство, пытается найти точки доступа стандарта 802.11b/g/n. MAC-адреса и уровни мощности принимаемых сигналов от обнаруженных устройств записываются в пакет данных, отправляемый на сервер для определения местоположения. Точность позиционирования при таком способе невысокая, порядка 30 м, но длительность сканирования не превышает 80 мс.

Нужно отметить, что LR1110 — первое устройство подобного типа, выпущенное компанией Semtech, но в 2020 году планируется производство еще нескольких изделий семейства LoRa Edge. Оценить работу трансивера можно уже сейчас при помощи отладочного комплекта (рис. 5). Он обладает совместимостью с платами Nucleo компании ST Microelectronics и состоит из:

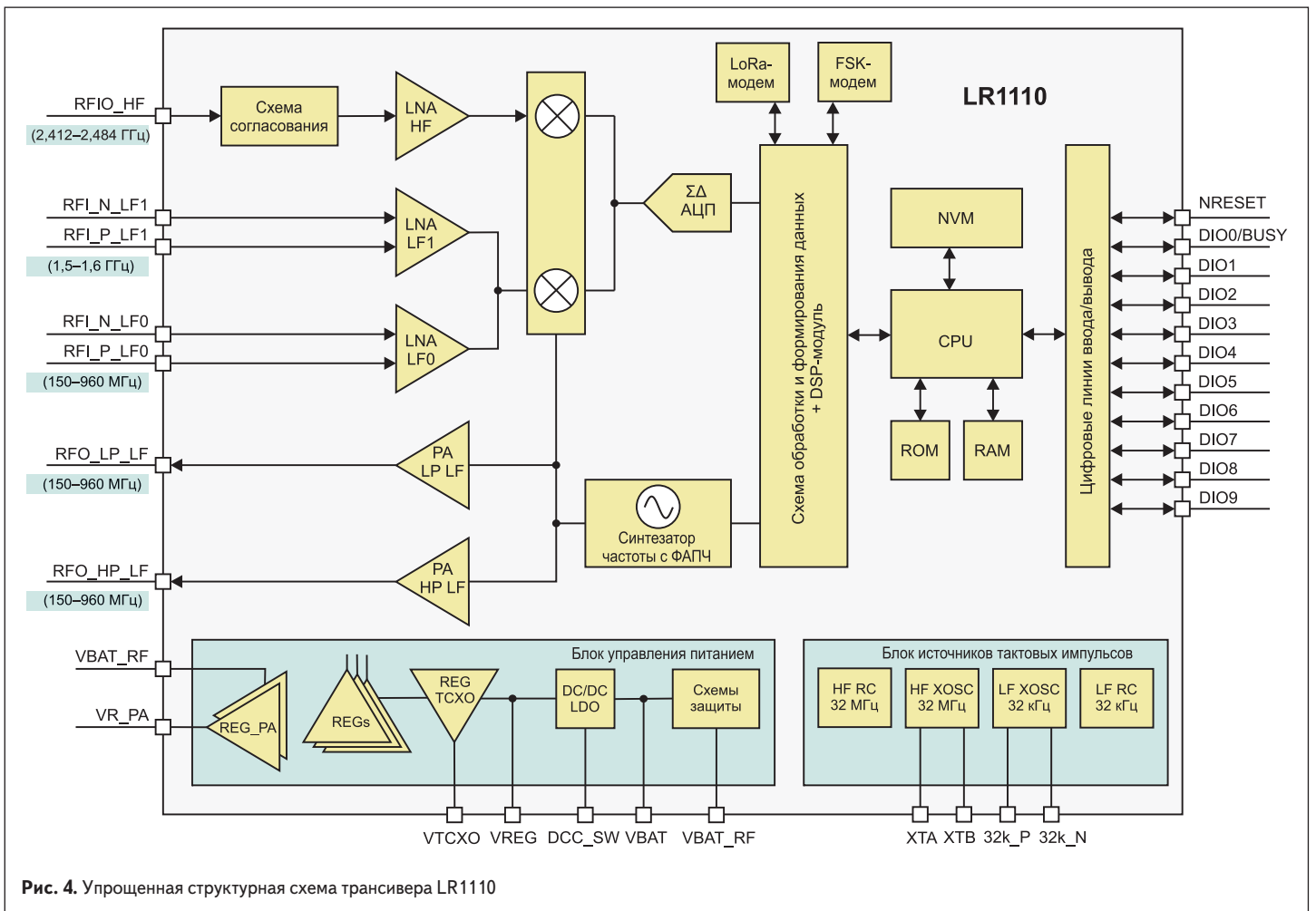
- двух модулей на основе трансивера LR1110;
- демонстрационной платы Nucleo-L476RG на основе микроконтроллера STM32L476RG;
- TFT сенсорного экрана;

- активной GNSS-антенны с подключением к SMA-разъему;
- пассивной GNSS-антенны с подключением к SMA-разъему;
- антенны на 2,4 ГГц для Wi-Fi;
- антенны, рассчитанной на специфичную для региона ISM-частоту (490, 868 или 915 МГц).

Прилагаемое программное обеспечение включает ряд тестовых примеров и утилиты для настройки параметров связи.

## Многоканальный концентратор SX1302

В LoRaWAN-сетях с высокой плотностью абонентских устройств полноценные базовые станции (шлюзы) изготавливаются на основе специальных многоканальных концентраторов. Новая ИС SX1302 представляет собой чип последнего поколения, способный обнаруживать и демодулировать данные от множества узлов одновременно. По сравнению с SX1301 он может обрабатывать более высокий объем трафика, кроме того, отличается меньшим собственным энергопотреблением, что позволяет упростить тепловую расчет конструкции шлюзов и сократить перечень требуемых компонентов. Одним из важных изменений является поддержка коэффициентов расширения спектра SF5 и SF6, использование которых стало возможным благодаря восьми дополнительным демодуляторам. Восемь остальных по-прежнему предназначены для обработки пакетов данных с SF 7-12.



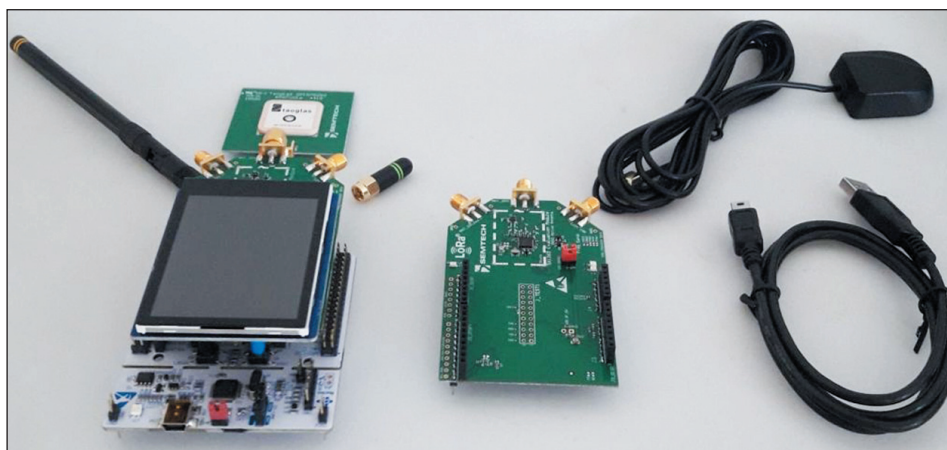


Рис. 5. Внешний вид оценочного комплекта на базе трансивера LR1110

На рис. 6 показана внутренняя структура чипа SX1302. Поскольку микросхема SX1302 не содержит интегрированного радиотракта, то для реализации радиочастотной части шлюза используются трансиверы SX1255 или SX1257 производства Semtech, их выбор зависит от номинального частотного диапазона. Универсальным решением является применение трансивера SX1250, обладающего широкой полосой рабочих частот в субгигагерцевом диапазоне (150–960 МГц). Полученная связка обеспечивает выполнение типовых функций базовых станций сети LoRaWAN, при этом чувствительность приема достигает  $-141$  дБм. Стоит отметить, что в отличие от полнофункциональных трансиверов SX126x устройства семейства SX125x не имеют встроенных модемов и обработчиков данных, реализуя только операции предварительного преобразования и оцифровки входных данных.

На вход ИС SX1302 с выхода устройств серии SX125x поступают I- и Q-составляющие полезных сигналов. После входных фильтров-дециматоров и детекторов при помощи блока из шестнадцати демодуляторов с адаптируемыми настройками

выполняется их преобразование. Восемь LoRa-каналов обладают фиксированной шириной полосы частот 125 кГц. Каждый из них может работать с любым коэффициентом SF (без его предварительного указания) и тем самым обеспечить одновременную обработку пакетов, имеющих различные скорости передачи данных. Использование такого подхода позволяет динамически регулировать скорость передачи в зависимости от бюджета линии связи, а также в случайном порядке менять частоту при каждой передаче, повышая помехозащищенность. Девятый LoRa-канал чаще всего применяется для взаимодействия с другими шлюзами сети. Для него существует возможность конфигурирования полосы частот (125, 250 или 500 кГц) и выбора всего одного из доступных коэффициентов расширения (SF5–SF12). Десятый канал выполняет демодуляцию входной FSK- или GFSK-последовательности, если применяются сигналы с соответствующими методами модуляции. Связь с хост-контроллером организуется посредством высокоскоростного интерфейса SPI. Контроллер выполняет калибровку, переключение режимов

работы, управляет автоматической регулировкой усиления и другими параметрами радиочастотного тракта трансиверов SX125x, а также задает характеристики отдельных каналов. При передаче сформированный пакет данных модулируется при помощи соответствующих FSK/LoRa-модуляторов и отправляется на выход.

Для функционирования всех узлов необходима тактовая частота 32 МГц, согласно типовой схеме включения она берется от трансиверов SX125x и подается на вход RADIO\_A\_CLK\_I. Питание микросхемы осуществляется от двух источников стабилизированного напряжения: с номиналом выхода 3,3 В для входных цепей, линий ввода/вывода и SPI-интерфейса, а с напряжением 1,2 В — для ядра SX1302. ИС изготавливается в планарном корпусе QFN-68, допустимые температуры эксплуатации  $-40...+85$  °С, хранения  $-40...+125$  °С.

## Заключение

Компания Semtech регулярно модернизирует линейку LoRa-устройств. Предлагаемые новинки, отличающиеся гибкостью применения и пониженным энергопотреблением, позволяют качественно улучшить характеристики проектируемых изделий, предназначенных для сетей стандарта LoRaWAN. Наличие оценочных комплектов, программного обеспечения для их настройки и отличной технической поддержки от производителя способствует повышению скорости разработки и вывода на рынок конечного устройства. ■

## Литература

1. Официальный сайт компании Semtech. [www.semtech.com](http://www.semtech.com)
2. Верхулевский К. Технология LoRa компании Semtech: новый импульс развития «Интернета вещей» // Беспроводные технологии. 2015. № 3.
3. Верхулевский К. Особенности и тенденции развития технологии LoRaWAN // Беспроводные технологии. 2017. № 1.

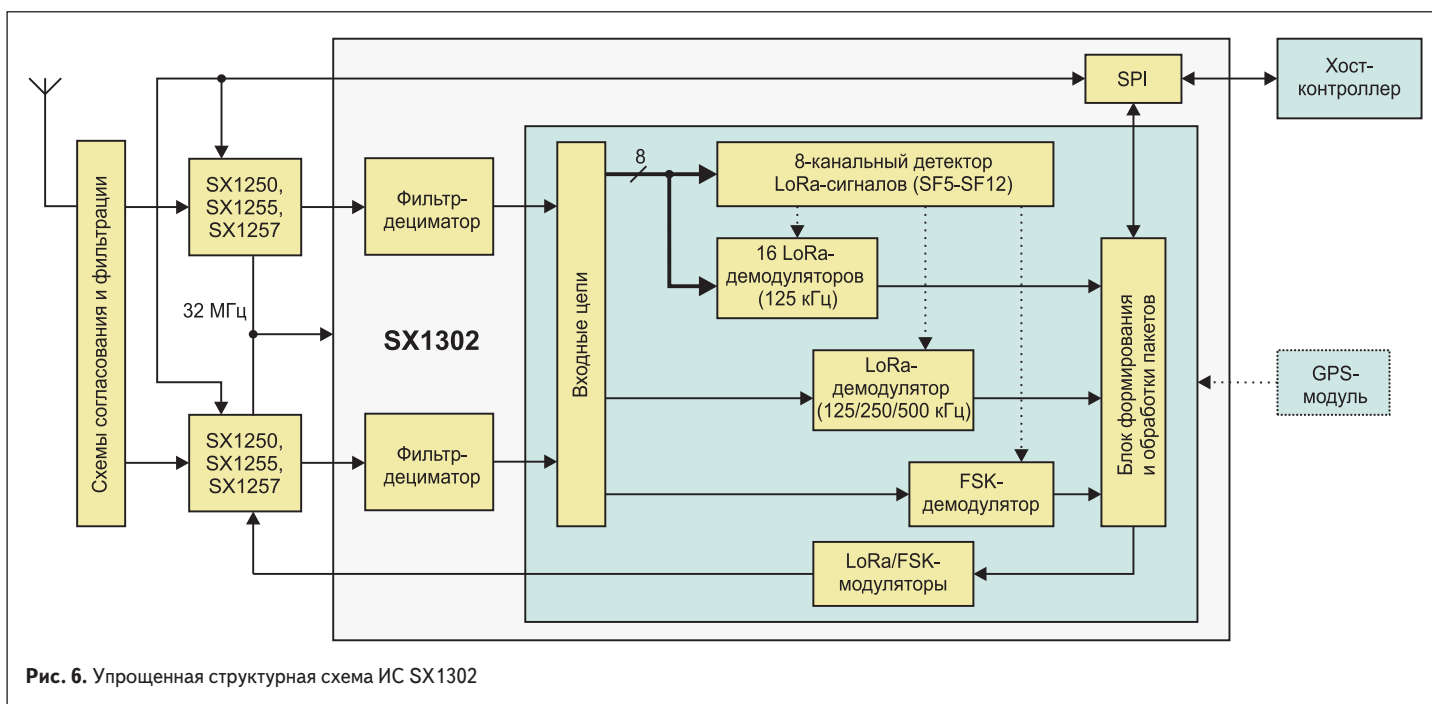


Рис. 6. Упрощенная структурная схема ИС SX1302