

Приемопередатчики компании Semtech

для узкополосной связи

Semtech Corporation — известный производитель высококачественных аналоговых и аналого-цифровых интегральных схем для высокоскоростных систем передачи данных, портативных устройств, компьютерного и промышленного оборудования, технологических установок, автоматизированных комплексов управления и т. д. Если отдельно рассматривать беспроводную продукцию компании, то в последнее время у всех на слуху серия трансиверов **SX127x**, разработанная с применением запатентованного метода модуляции **LoRa** и позволяющая добиться рекордных показателей бюджета канала связи (до 168 дБ). Между тем в линейке компании присутствуют и другие, не менее интересные радиочастотные изделия. В данной статье речь пойдет об узкополосных однокристалльных приемопередатчиках малого радиуса действия, особенно полезных при организации беспроводных соединений на субгигагерцовых несущих частотах.

Константин Верхулевский
info@icquest.ru

Введение

Нередко при разработке устройств и систем различного назначения возникает задача реализации беспроводного канала передачи данных на расстояния от десятков метров до нескольких километров. Как правило, для таких задач используются специальные нелицензируемые ISM (Industrial, Scientific, Medical) диапазоны с рабочими частотами, выделенными в широком интервале от десятков килогерц до десятков гигагерц.

Термин «нелицензируемые» означает, что потребитель может использовать радио-передающие устройства без специальных разрешений и регистрации, единственное требование — соответствие технических характеристик применяемого изделия определенным нормам, устанавливаемым регулирующими органами для данной части радиочастотного спектра. Эти правила отличаются друг от друга в разных странах. В США нормы устанавливает Федеральная комиссия по связи (Federal Communication Commission, FCC), а в Европе — Европейский институт

стандартов по телекоммуникациям (European Telecommunication Standards Institute, ETSI). В Российской Федерации данным вопросом занимается Государственная комиссия по радиочастотам (ГКРЧ), действующим в настоящее время документом является ее постановление № 539 от 12 октября 2004 г. (с некоторыми изменениями вплоть до 26 декабря 2015 г.) «О порядке регистрации радиоэлектронных средств и высокочастотных устройств». Согласно данному постановлению был выделен ряд диапазонов частот для свободного использования при условии соблюдения требований по ширине полосы, излучаемой мощности и назначению готового устройства (табл. 1).

Выбор того или иного частотного диапазона оказывает существенное влияние на характеристики проектируемой беспроводной системы, т. к. этот параметр неразрывно связан с дальностью передачи данных, пропускной способностью, энергопотреблением, требуемым количеством узлов в сети и, как следствие, с финансовыми и инженерными затратами на разработку и настройку [1]. Наиболее часто используемыми

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

Частотный диапазон, МГц	Допустимые характеристики	Основное назначение
433,075–434,750	10 мВт (рабочий цикл не ограничен)	Неспециализированные устройства общего применения, включая маломощные радиостанции, аппаратуру телеметрии, телеуправления, сигнализации, передачи данных и т. д.
433,050–434,790	10 мВт (рабочий цикл <10%)	Устройства дистанционного управления, охранной сигнализации и оповещения.
864,0–865,0	25 мВт	Неспециализированные устройства общего применения, включая маломощные радиостанции, аппаратуру телеметрии, телеуправления, сигнализации, передачи данных и т. д. Запрещается использование в пределах аэропортов.
868,0–868,2	10 мВт (рабочий цикл < 10%)	Устройства дистанционного управления, охранной сигнализации и оповещения.
868,7–869,2	25 мВт	Неспециализированные устройства общего применения.
2400,0–2483,5	2,5 мВт	Устройства малого радиуса действия в сетях беспроводной передачи данных при использовании псевдослучайной перестройки рабочей частоты.
2400,0–2483,5	100 мВт	Устройства малого радиуса действия в сетях беспроводной передачи данных внутри закрытых помещений при использовании псевдослучайной перестройки рабочей частоты.
5725,0–5875,0	25 мВт	Неспециализированные устройства общего применения.

ISM-частотами являются 433, 868 и 2400 МГц. В последнее время наметилось активное применение 868-МГц диапазона для решения типовых задач сбора данных, беспроводного дистанционного управления и контроля, построения систем охранно-пожарной безопасности, промышленной автоматики, а также «умных домов». Эта тенденция обусловлена несколькими факторами:

- Меньшей загруженностью частоты, способствующей более надежной работе радиоканала. В универсальном диапазоне 2,4 ГГц действует огромное количество различной бытовой и потребительской электроники, работающей практически непрерывно. К таковым устройствам, в первую очередь, относится беспроводное сетевое оборудование, компьютеры, сотовые телефоны, использующие стандарты Bluetooth, Wi-Fi, 802.15.4 и ZigBee, а также микроволновые печи. Диапазон 433 МГц используется многочисленными устройствами охранной сигнализации. Поэтому наиболее «спокойным» в плане влияния помех на текущий момент представляется диапазон 868 МГц.
- Увеличенной дальностью уверенной связи систем субгигагерцового диапазона по сравнению с 2,4 ГГц. Согласно известной формуле Фрииса, уменьшение частоты передачи в два раза примерно во столько же раз увеличивает дальность приема при одинаковых мощностях излучения. Более длинные волны 868 МГц имеют меньшую интенсивность затухания в условиях погодных осадков, перепадов рельефа местности и большую проникаемость при прохождении сквозь препятствия в виде стен, деревьев и железобетонных зданий. Радиоволны диапазона 868 МГц также значительно лучше распространяются в замкнутых пространствах (тоннелях метро, колодцах, различных помещениях).
- Сниженным собственным потреблением энергии. В общем случае, чем выше рабочая

частота системы, тем больше потребление тока. Это касается, в основном, активного режима работы трансивера, т. к. в режиме сна параметры потребления не зависят от частотного диапазона.

Таким образом, можно заключить, что по совокупности таких ключевых параметров, как высокая проникаемость, меньшая загруженность частотного диапазона, а также достаточно высокая скорость передачи данных, радиоволны 868 МГц являются наиболее оптимальным решением данного рода задач по сравнению с остальными ISM-диапазонами. Существуют у ISM-диапазона 868 МГц и недостатки, к ним относятся:

- Увеличенные по сравнению с диапазоном 2,4 ГГц габариты используемых антенн. Данный недостаток можно устранить путем использования высококачественных керамических антенн, рассчитанных на 868 МГц. Подобные изделия доступны в линейках продукции ряда компаний, например у Johanson Technology.
- Узкая полоса частот, открытая для свободного использования вблизи 868 МГц, и как следствие, малое количество частотных каналов. Этот недостаток способствовал появлению и активному применению узкополосных приемопередатчиков, способных успешно решать задачи двустороннего обмена информацией в данном рабочем диапазоне. Наиболее известные трансиверы этого класса выпускают компании Semtech, Texas Instruments и Silicon Labs (SiLabs).

Узкополосные ISM-трансиверы Semtech

Серия узкополосных ISM-трансиверов Semtech в настоящее время включает в себя восемь моделей, принадлежащих преимущественно высокопроизводительному семейству SX123x [2]. Характерной чертой всех устройств семейства является гибкость применения: внутренние

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 приемопередатчика для решения различных задач. Конфигурирование всех основных параметров радиочастотной и цифровой частей трансиверов осуществляется при помощи интерфейса связи SPI.

Микросхемы серии SX123x имеют широкий диапазон рабочих частот, включающий не требующие лицензирования ISM частоты 433 и 868 МГц. Отличная чувствительность приема (до -124 дБм при скорости приема/передачи данных 1,2 кбит/с) и высокая выходная мощность обеспечивают надежную передачу на большие расстояния, сокращая 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 дБм до +20 дБм, а в случае SX1238 с интегрированным дополнительным усилителем мощности и до +27 дБм; таким образом, энергетический бюджет линии связи достигает величины 151 дБм. Конструктивно SX123x изготавливаются в низкопрофильных корпусах для поверхностного монтажа типа QFN с размерами, не превышающими 6×6 мм.

В таблице 2 приведены основные технические характеристики узкополосных 6×6 мм трансиверов Semtech, а также параметры их ближайших аналогов от компаний Texas Instruments и Silicon Labs (цветом отмечены новинки).

Узкополосные приемопередатчики Semtech поддерживают следующие типы модуляции: FSK, GFSK, MSK, GMSK, OOK и могут обеспечивать обмен данными со скоростями до 600 кбит/с. Выбор того или иного метода модуляции, оптимального для заданных условий эксплуатации,

Таблица 2. Основные характеристики узкополосных трансиверов Semtech

Наименование	Диапазон рабочих частот, МГц	Ширина канала, кГц (мин/макс)	Выходная мощность, дБм (макс)	Чувствительность, дБм (BR=1,2 кбит/с)	Бюджет канала связи, дБ (макс)	Типы модуляции	Максимальная скорость передачи, кбит/с	Потребление тока, мА (Tx)	Потребление тока (мин.), мА (Rx)
SX1231	290-1000	2,6/500	17	-120	137	FSK/GFSK, MSK/GMSK, OOK	300	33 (при P _{out} = 10 дБм)	16
SX1231H	290-1000	2,6/500	20	-120	140		600	33 (при P _{out} = 10 дБм)	16
SX1232	860-1000	2,7/250	20	-123	143		300	28 (при P _{out} = 13 дБм)	9,3
SX1233	290-1000	2,6/500	17	-120	137		600	33 (при P _{out} = 10 дБм)	16
SX1235	860-1000	2,7/250	20	-123	143		300	28 (при P _{out} = 13 дБм)	9,3
SX1236	137-1020	2,7/250	20	-123	143		300	29 (при P _{out} = 13 дБм)	9,9
SX1238	863-928	2,7/250	27	-124	151	FSK/GFSK, MSK/GMSK, OOK	300	158 (при P _{out} = 17 дБм)	20
SX1208	290-510	2,6/250	20	-122	142		100	33 (при P _{out} = 10 дБм)	16
CC1120 (TI)	137-960	8/200	16	-123	139	2-FSK, 4-FSK, 2-GFSK, 4-GFSK, MSK, OOK	200	34 (при P _{out} = 10 дБм)	17
CC1125 (TI)		2,8/250						38 (при P _{out} = 10 дБм)	
Si4460 (SiLabs)	142-1050	1,1/850	13	-127 (BR = 0,5 кбит/с), -109 (BR = 9,6 кбит/с)	140	FSK/GFSK, MSK/GMSK, OOK	1000	19,7 (при P _{out} = 10 дБм)	13,7
Si4461 (SiLabs)			16					33,5 (при P _{out} = 13 дБм)	
Si4463 (SiLabs)			20					44,5 (при P _{out} = 13 дБм)	

основывается на компромиссе между пропускной способностью канала и требуемой дальностью связи. Для питания микросхем требуется источник с постоянным выходным напряжением в пределах от 1,8 до 3,7 В, наилучшие показатели собственного потребления энергии среди ИС семейства имеют трансиверы SX1232 и SX1235: в режиме приема — 9,3 мА, в режиме передачи — 28 мА (при выходной мощности +13 дБм). В спящем режиме потребляется не более 100 нА, при этом гарантируется сохранение содержимого внутренних управляющих регистров.

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 (IP3). При максимальных усилениях 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 устойчивое и надежное решение для различных условий эксплуатации. В итоге семейство микросхем SX123x, сочетающее в себе компактные размеры, низкое энергопотребление и отличные показатели бюджета канала связи, является экономичным решением для создания беспроводных устройств, применяемых в:

- автоматизированных системах сбора данных (телеметрия, мониторинг состояния объектов, учет энергоресурсов);

- оборудовании связи и передачи данных;
- устройствах промышленной автоматике;
- системах автоматизации зданий;
- периферийных устройствах, терминалах и пультах управления;
- системах охранно-пожарной сигнализации и контроля доступа.

Каждый представитель семейства SX123x имеет практически одинаковые функциональные блоки. Рассмотрим их работу на примере приемопередатчика SX1232, выбранного в качестве базовой модели для высокопроизводительных LoRa-трансиверов серии SX127x, попутно оценивая отдельные технические характеристики устройства [3]. Также остановимся на новинках линейки, к которым относятся ИС SX1208, SX1236 и SX1238.

Для интеграции основных функциональных узлов на одном кристалле и минимизации числа внешних компонентов при разработке линейки SX123x инженерами компании Semtech была использована технология TrueRF. В результате при типовой схеме подключения необходимыми являются только пассивные развязывающие и согласующие элементы. На рис. 1 представлены основные узлы ИС SX1232, которые по функциональному назначению можно отнести к приемному или передающему трактам, схеме формирования частот, интерфейсу ввода/вывода с конфигурационными регистрами или подсистеме питания. Рассмотрим их взаимодействие в режимах приема и передачи.

Радиоприемный тракт реализован по схеме квадратурного преобразования с однократным понижением частоты входного модулированного сигнала. Для упрощения проектирования и минимизации внешних компонентов используется несимметричный входной сигнал. Такая схема получила наибольшее распространение в современных однокристалльных решениях, поскольку позволяет реализовать лучшие характеристики радиоприемного устройства в части чувствительности и избирательности по соседнему каналу по сравнению со схемой прямого преобразования.

Сначала принимаемый сигнал поступает на малошумящий усилитель (LNA), охваченный цепью обратной связи с целью автоматической 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, которые поступают на два высокопроизводительных $\Delta\Sigma$ 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 мощности принимаемого сигнала (RSSI) с широким динамическим диапазоном 127 дБм и разрешением 0,5 дБ. Параметры канального фильтра 16-го порядка с конечной импульсной

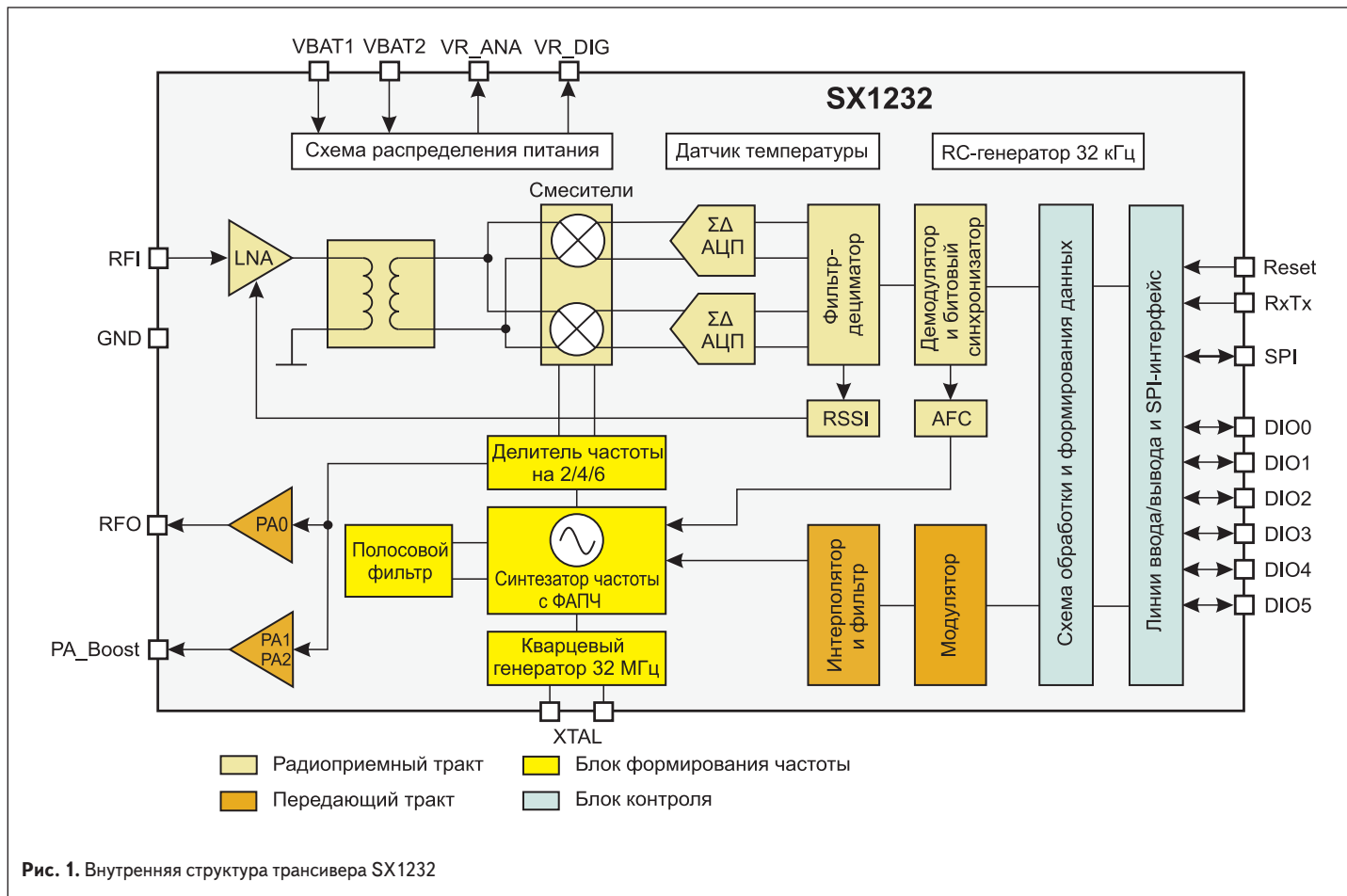


Рис. 1. Внутренняя структура трансивера SX1232

характеристикой (КИХ), применяемого для устранения шумов и интерференционных составляющих, зависят от заданного типа модуляции; его рабочая полоса программируется в пределах 2,6–250 кГц. Блок демодуляторов включает в себя два демодулятора: первый для обработки сигналов FSK, GFSK, MSK и GMSK, второй — для работы с OOK. Битовый синхронизатор служит для получения синхронизированных цифровых данных без шумовых выбросов (рис. 2).

Выход синхронизатора программным путем может быть соединен с выводом DIO1/DCLK. Для его корректного использования рекомендуется соблюдать следующие условия: преамбула пакета данных (0×55 или 0×AA) 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 должен отличаться более чем на 6,5%.

Селективные свойства радиоприемного тракта следующие:

- избирательность по соседнему каналу не менее 50 дБ;
- подавление зеркального канала не менее 48 дБ;
- динамический диапазон блокировки 73 дБ (при отстройке на ± 1 МГц) и 87 дБ (при ± 10 МГц);
- интермодуляционные искажения третьего порядка -12 дБм при максимальном усилении.

В радиопередающем тракте сигнал гетеродина модулируется с помощью цифрового модулятора, после чего усиливается и подается на выход передатчика. Можно использовать один из трех усилителей мощности: первый, подключенный к выводу RFO, обеспечивает усиление до +14 дБм (20 мВт); остальные два, соединенные с PA_Boost, при использовании рекомендованной согласующей цепи выдают до +20 дБм (100 мВт). Программируемые значения выходной мощности с шагом 1 дБ и возможность подключения различных антенн позволяют оптимизировать характеристики модулей для каждого конкретного приложения. Для упрощения согласования с антенной выход УМ сделан несимметричным. Ток потребления в режиме передачи вырастает: например, при выходной мощности +13 дБм он составляет 28 мА. Для проверки целостности передаваемых данных выполняется автомати-

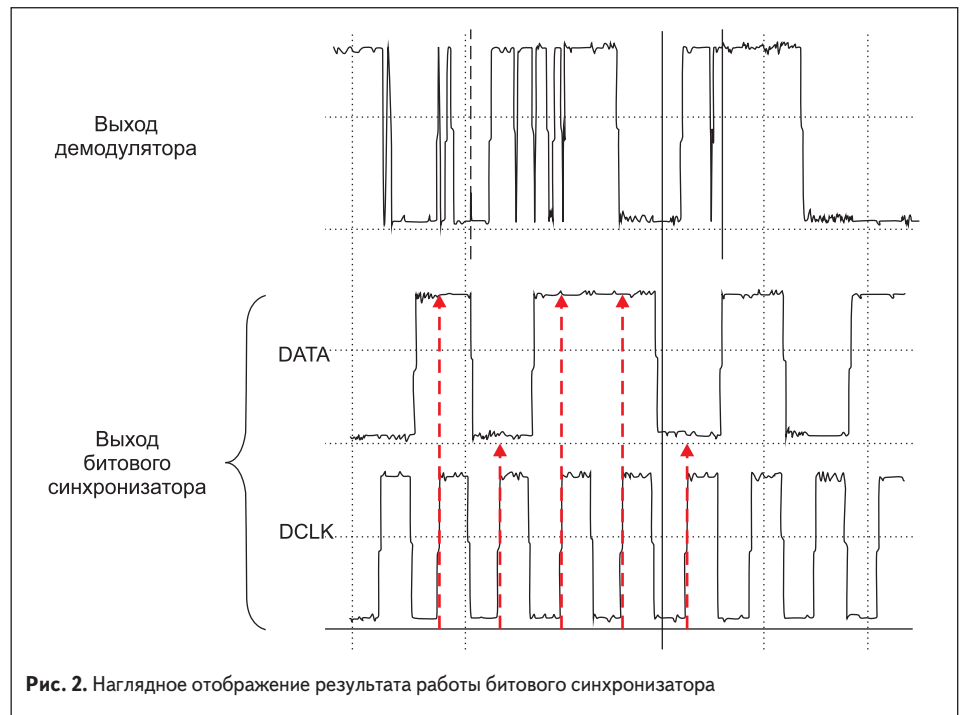


Рис. 2. Наглядное отображение результата работы битового синхронизатора

ческая генерация циклической контрольной суммы CRC. Встроенная защита от перегрузки по току полезна при работе передатчика на максимальных уровнях мощности.

Блок формирования частоты состоит из прецизионного синтезатора с системой фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ), имеющего дробный коэффициент деления, и делителя частоты. Полученный сигнал генератора с разрешением 61 Гц используется для обеспечения работы отдельных узлов приемника и передатчика. Основным источником тактовых импульсов для синтезатора частоты является кварцевый генератор на 32 МГц, который также выполняет функцию синхронизации цифровой части микросхемы. Дополнительный вывод CLKOUT позволяет использовать ИС в качестве программируемого опорного генератора для тактирования внешнего микроконтроллера, заменяя его кварцевый резонатор и удешевляя схему. Если данный вывод не нужен, то его рекомендуется отключить для сокращения собственного энергопотребления.

Назначение схемы обработки и формирования данных — организация взаимодействия

между модулятором/демодулятором и внешним управляющим контроллером. На рис. 3 изображены основные функциональные блоки данной схемы, некоторые из них, в зависимости от выбранного режима работы, могут быть отключены. Например, в пакетном режиме (packet mode) пользователь работает непосредственно с 64-байтным FIFO-буфером, размещая в нем или извлекая из него данные. Пакет данных формируется в специальном обработчике, в котором происходит генерация преамбулы (1010...), добавление синхрослова (идентификатора сети), опциональное CRC-кодирование и т. д., длина пакета может быть фиксированной (при заранее известном количестве данных), переменной или неограниченной (рис. 4а, б, в). В режиме приема выполняются обратные операции (распознавание синхрослова, декодирование CRC и т. д.). В непрерывном режиме (continuous mode) каждый полученный/передаваемый бит в режиме реального времени оказывается на выводе DIO2/DATA без участия буфера и обработчика пакетов.

Также возможно функционирование трансивера в автономном режиме без внешнего управления

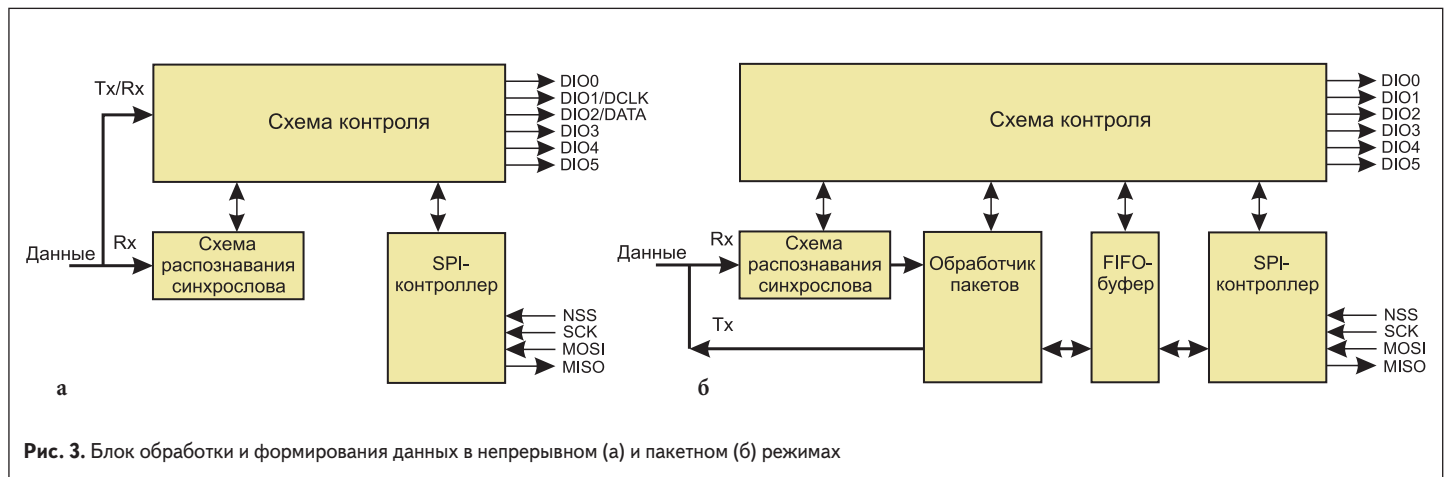
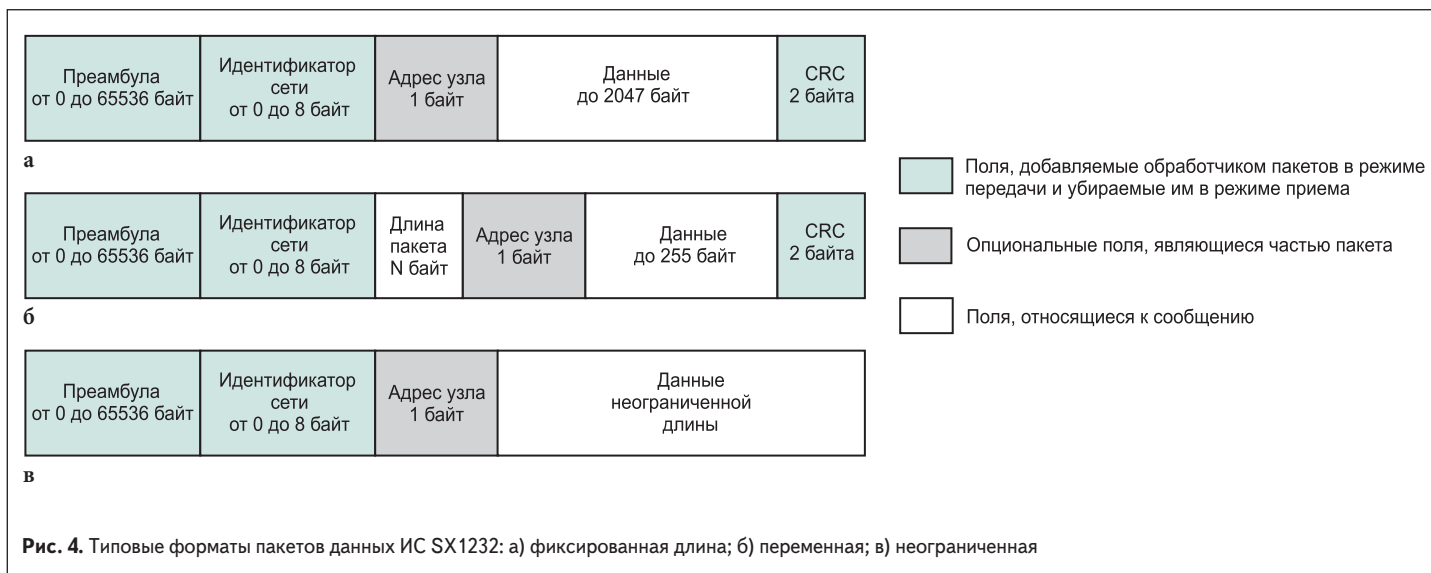


Рис. 3. Блок обработки и формирования данных в непрерывном (а) и пакетном (б) режимах



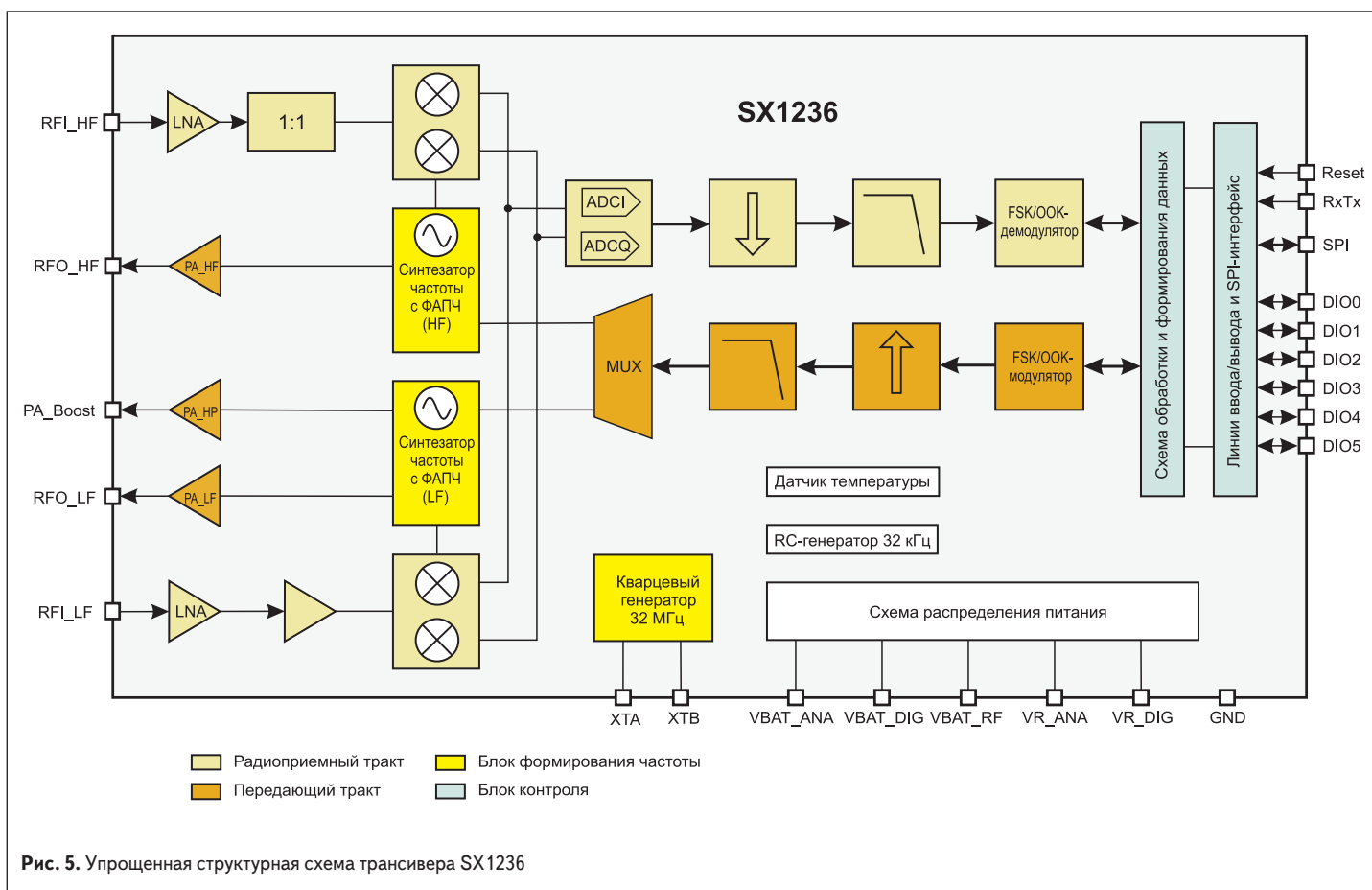
и контроля. В этом случае применяется встроенный программируемый автомат состояний, задающий последовательность и условия перехода между режимами работы по заранее заданному алгоритму. Временные интервалы автомата состояний (64 мкс, 4,1 мс или 262 мс) задаются при помощи двух встроенных таймеров. Среди дополнительных полезных функций можно отметить наличие встроенного датчика температуры и индикатора пониженного напряжения питания, генерирующего сигнал прерывания при достижении заданного порога. Конфигурируемые выходы общего назначения, каждый из которых можно независимо запро-

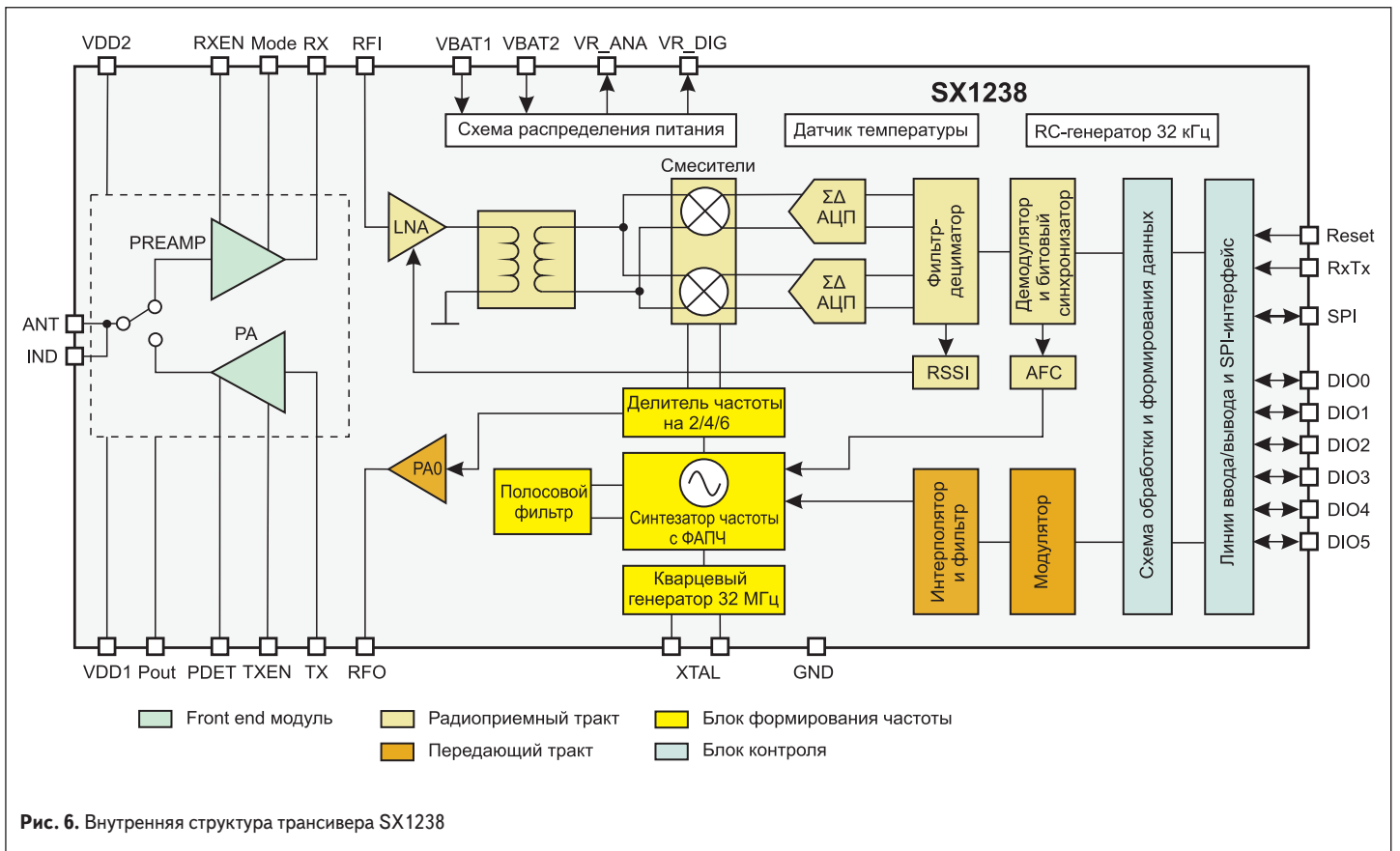
граммировать на выполнение определенной функции, полезны при организации взаимодействия с управляющим контроллером.

По аналогичной схеме построен новый трансивер SX1208, основное назначение которого — узкополосные системы малоразнодиапазонной связи с двусторонней передачей данных в диапазоне частот 290–510 МГц. Обладающий хорошей чувствительностью, достигающей -124 дБм при скорости 600 бит/с, и программируемой мощностью в пределах от -18 до +20 дБм, он рекомендован для применения в беспроводных датчиках охранных и пожарных систем, устройствах промышленного

мониторинга и контроля, детекторах дыма, счетчиках различного типа и т. д. В рабочем диапазоне частот программным способом могут быть заданы несколько частотных каналов шириной от 2,6 до 250 кГц. Максимальная полная скорость передачи данных составляет 100 кбит/с. Программирование микросхемы также сводится к записи определенных значений в соответствующие регистры приемопередатчика через порт SPI. Полное описание регистров с соответствующими комментариями доступно в документации производителя [4].

Другая новинка — трансивер SX1236, ключевым отличием которого является возмож-





ность независимой работы на двух каналах с разными несущими частотами в диапазоне 137–1020 МГц [5]. Для этого в структуру микросхемы внедрены два отдельных синтезатора частот с ФАПЧ, первый из них рассчитан на диапазон до 525 МГц, второй — на генерирование частот выше 868 МГц (рис. 5).

Высокопроизводительный приемопередатчик обладает регулируемой выходной мощностью с максимальным значением +20 дБм, чувствительностью –123 дБм и поддерживаемыми скоростями передачи данных в диапазоне 1,2–300 кбит/с. С учетом низкого собственного потребления (9,9 мА в режиме приема и 200 нА в режиме сохранения данных в регистрах), SX1236 является оптимальным решением 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. Как и остальные компоненты линейки, приемопередатчик SX1236 поддерживает несколько режимов модуляции: FSK, GFSK, MSK, GMSK и OOK, а также соответствует требованиям WMBus, IEEE 802.15.4g и других регулирующих стандартов.

Максимальная выходная мощность, встречаемая у наиболее популярных однокристалльных приемопередатчиков ISM-диапазонов, составляет +20 дБм, или 100 мВт. Для повышения ее уровня и, соответственно, увеличения дальности и эффективности сети при разработке интеллектуальных измерителей

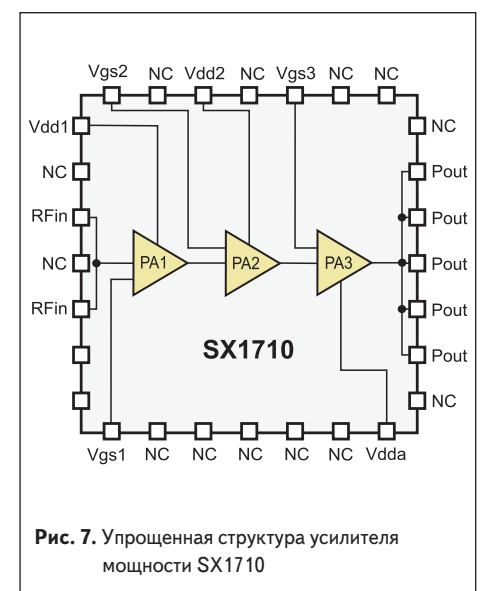
производителям часто приходится применять отдельные, так называемые front end микросхемы, включающие в себя, как правило, выходной усилитель мощности и входной малошумящий предусилитель. Приемопередатчик SX1238 является первой ИС, объединяющей front end микросхему и приемопередатчик в одном корпусе, оптимизируя размеры решения и его технические характеристики (рис. 6). Полученная в результате выходная мощность +27 дБм рассматривается как оптимальный компромисс между сроком службы элемента питания устройства и дальностью связи [6]. Использование данного подхода позволяет повысить бюджет канала связи до 151 дБ.

Основные особенности приемопередатчика SX1238:

- максимальная выходная мощность +27 дБм;
- чувствительность –124 дБм при использовании GFSK и скорости передачи данных 1,2 кбит/с;
- частотный диапазон 863–928 МГц;
- максимальная скорость передачи данных 300 кбит/с;
- типы модуляции FSK, GFSK, MSK, GMSK и OOK;
- диапазон напряжения питания 1,8–3,7 В;
- ультрабыстрая перестройка частоты;
- поддержка стандартов WMBus, 802.15.4g (SUN), Wi SUN и ZigBee NAN;
- наличие RSSI с динамическим диапазоном 115 дБ;
- 40-выводный корпус MLPQ.

Если по каким-либо причинам ИС SX1238 не подходит для решения определенной задачи, но требуется значительный уровень

выходной мощности, то существует возможность к трансиверам серии SX123x подключить внешний усилитель, например рекомендованный компанией Semtech SX1710 [7]. Он рассчитан на широкий диапазон рабочих частот 100–1000 МГц, имеет коэффициент усиления до 35 дБ и изготавливается в пластиковом корпусе QFN28 размерами 5×5 мм. Позиционируется для применения в RFID-устройствах, счетчиках электроэнергии, системах связи и удаленного контроля. На рис. 7 показана упрощенная структурная схема SX1710, в типовых применениях первый и второй каскады представляют собой усилители классов А и АВ соответственно, а третий — класса С.



Заключение

Линейка узкополосных трансиверов Semtech малого радиуса действия, разработанная для применения в безлицензионных субгигагерцовых диапазонах, широко применяется в устройствах передачи данных, оборудовании дистанционного мониторинга и контроля, охранно-пожарных системах и т. д. Бюджетные микросхемы серии SX123x обладают хорошим бюджетом канала связи, гибкостью применения, отличными функциональными возможностями и обеспечивают надежный двусторонний канал связи даже в условиях загруженности диапазона и воздействия интерференционных помех. Всесторонняя поддержка разработчиков, включающая

в себя доступную документацию, примеры топологии беспроводных устройств, средства расчета параметров схем, а также консультации от инженеров компании, облегчает процесс выбора подходящего решения. ■

Литература

1. Пушкарев О. Использование диапазонов 433 и 868 МГц в системах промышленной телеметрии. // Электронные компоненты. 2012. № 2.
2. Wireless RF Solutions. Selection Guide. 2015. www.semtech.com/images/mediacenter/collateral/ism_sg.pdf
3. SX1232 — 860 & 915 MHz ultra low power high link budget integrated UNF transceiver.

Datasheet, rev. 4. July 2013. www.semtech.com/images/datasheet/sx1232.pdf

4. SX1208 — Low power integrated UNF transceiver. Datasheet, rev. 1. March 2015. www.semtech.com/images/datasheet/sx1208.pdf
5. SX1236 — 137 to 1020 MHz low power bi-band transceiver. Datasheet, rev. 1. December 2013. www.semtech.com/images/datasheet/sx1236.pdf
6. SX1238 — Fully integrated transceiver with +27 dBm Tx power. Datasheet, rev. 2. June 2014. www.semtech.com/images/datasheet/sx1236.pdf
7. SX1710 — Broadband high efficiency RF power amplifier. Datasheet, rev. 2. November 2014. www.semtech.com/images/datasheet/sx1710.pdf