

Приемопередатчики ADI

для программно-определяемых радиосистем

Недавно радиолюбители получили еще один способ организации непрерывной связи с радиопокрытием практически всего мира. С помощью нового геостационарного спутника теперь легко обеспечить надежную связь с покрытием одной трети земного шара. Для связи с этим спутником необходимо специальное оборудование, потому что частоты доступа отличаются от частот, используемых для отражения радиосигналов от ионосферы. Новые приемопередатчики для программно-определяемых радиосистем имеют множество преимуществ, таких как удобная перенастройка и возможность наблюдать за всем интересующим диапазоном, и это лишь некоторые из плюсов.

В статье приведен обзор данного спутника, рассказана его история, описаны области его покрытия и дана информация о том, как получить к нему доступ. Кроме того, представлена реализация работающей радиостанции с использованием программно-определяемой радиосистемы ADALM-PLUTO на основе одного из приемопередатчиков ADI.

Диего Кох (Diego Koch)

Перевод: Михаил Русских
tau68@rambler.ru

Спутник

Запущенный в 2018 году с мыса Канаверал, спутник связи Es'hail-2 катарской спутниковой компании Es'hailSat предоставляет услуги связи в области телевидения, голосовой передачи данных, Интернета, корпоративных и государственных услуг связи в Европе, на Ближнем Востоке, в Африке и других регионах. Он работает с февраля 2019 года и находится над Центральной Африкой на геостационарной орбите. С высоты 36 000 км спутник охватывает территорию с запада на восток от Бразилии до Малайзии и с севера на юг от Фарерских островов до Антарктиды, как показано на рис. 1.

Компания Es'hailSat со штаб-квартирой в катарском городе Доха была основана в 2010 году. Она владеет и управляет спутниками для предоставления услуг вещательным компаниям, предприятиям и правительственным органам. Чтобы способствовать развитию космических технологий в Катаре, Es'hailSat совместно с еще одной международной некоммерческой организацией Amateur Satellite Corporation (AMSAT) инициировала разработку новой технологии для Катарского общества радиолюбителей (QARS), являющегося национальной некоммерческой организацией радиолюбителей. AMSAT проектирует, собирает, устанавливает, запускает и эксплуатирует спутники, несущие

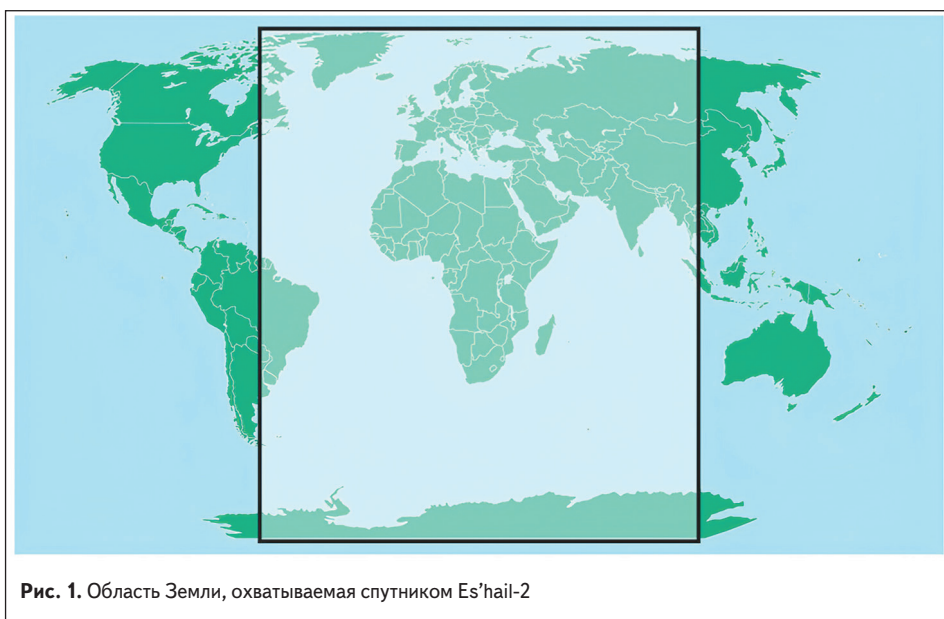


Рис. 1. Область Земли, охватываемая спутником Es'hail-2

радиолобительское оборудование. В разных странах существуют национальные организации, аффилированные с AMSAT, среди них есть и немецкая организация AMSAT Germany (AMSAT-DL), которая в декабре 2012 года присоединилась к альянсу от имени QARS. Это сотрудничество позволило оборудовать спутник Es'hail-2 двумя специализированными транспондерами, благодаря чему была впервые реализована возможность радиолобительской геостационарной связи, которая в режиме реального времени обеспечивает связь друг с другом пользователей, находящихся в пределах видимости спутника.

Многие радиолобительские спутники получают обозначение OSCAR (орбитальный спутник, несущий радиолобительскую аппаратуру связи). Эти спутники могут бесплатно использоваться получившими лицензию радиолобителями для передачи голосовой информации и данных. До сих пор они летали на низких околоземных орбитах (LEO) и на высокоэллиптических орбитах (HEO), и на них необходимо наводиться с помощью антенн, когда они появляются над горизонтом всего лишь на несколько минут. Как только они исчезают за горизонтом, передача данных становится невозможной. Спутники на геостационарной орбите имеют преимущество, поскольку при наблюдении с Земли их положение в небе не меняется. Хотя для обеспечения доступа к таким спутникам не нужно перемещать наземные антенны, из-за большого расстояния (36 000 км) появляются новые задачи в плане уменьшения потерь мощности при передаче сигналов в свободном пространстве, точности наведения антенны и задержки, которая составляет около 250 мс при отправке сигнала от одного наземного передатчика на спутник и передаче его обратно на другой наземный передатчик. Спутник Es'hail-2 получил обозначение OSCAR100, потому что стал сотым спутником, который несет радиолобительскую аппаратуру связи.

Получение доступа к Es'hail-2

На протяжении многих лет радиолобители работали со спутниками. Традиционно для этого использовались аналоговые преобразователи с понижением частоты и преобразователи с повышением частоты, осуществляющие сдвиг принятых и передаваемых сигналов в радиолобительские диапазоны и из этих диапазонов, с которыми работают приемопередатчики. Частоты восходящего канала (от Земли к спутнику) и нисходящего канала (от спутника к Земле), используемые спутниками, иногда выходят за рамки частотного диапазона применяемых приемопередатчиков. Es'hail-2 имеет два транспондера: один для узкополосных, а другой для широкополосных передач. Поскольку у этого транспондера доступная полоса пропускания составляет всего 250 кГц, для работы с несколькими каналами необходимо использовать соответствующие методы модуляции. Наиболее часто применяемыми типами аналоговой модуляции являются телеграфия (код Морзе, также называемая манипуляцией непрерывного сигнала) и телефония (передача голоса, или однополосная модуляция).

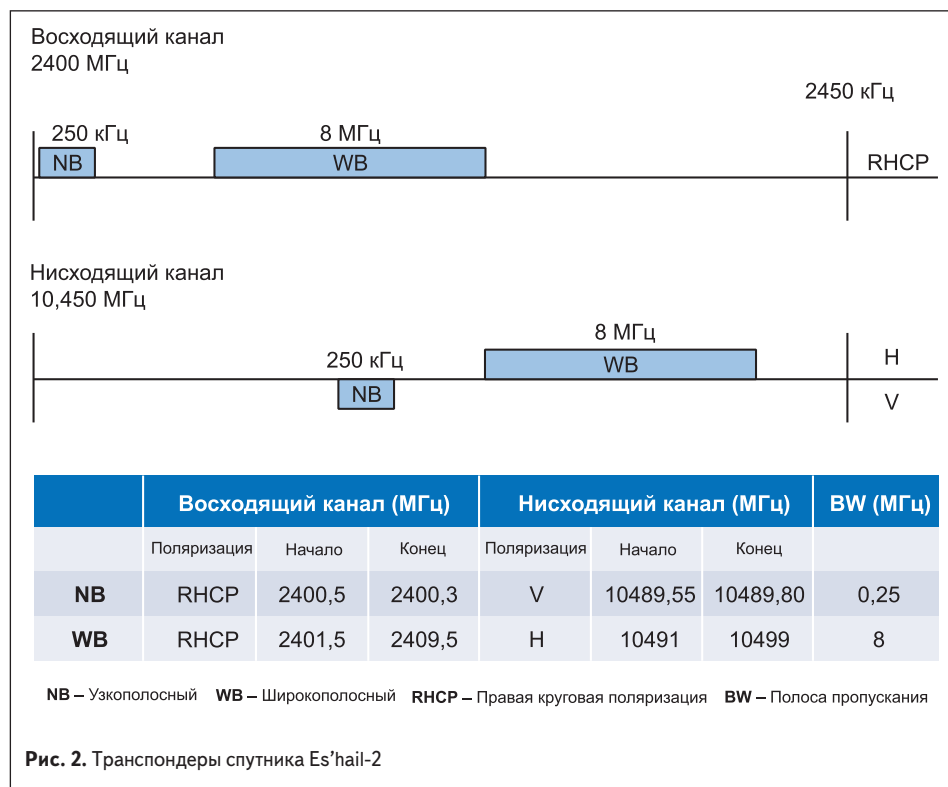
Восходящий канал находится на частоте 2,4 ГГц (диапазон 13 см) с правой круговой поляризацией, а нисходящий канал — на частоте 10,45 ГГц (диапазон 3 см) с горизонтальной или вертикальной поляризацией. Радиолобители могут осуществлять передачу в диапазоне 13 см (2300–2310 и 2390–2450 МГц), будучи лицензированными операторами спутниковой связи, имеющими оборудование достаточной мощности и антенны с большим усилением. Этот диапазон перекрывается полосой частот, выделенной для гражданского радио 2400–2500 МГц и являющейся частью диапазона ISM для промышленного, научного и медицинского оборудования. К числу самых популярных нелицензионных применений диапазона ISM относятся беспроводные локальные сети. Подробная информация о транспондерах спутника Es'hail-2 показана на рис. 2.

Инновационный подход в области программно-определяемых радиосистем

Появление программно-определяемых радиосистем также повлияло на мир радиолобительства. Несмотря на то что большинство современных приемопередатчиков по-прежнему имеют те же элементы управления, что и их более старые аналоговые собратья, многие из них содержат в своем составе процессор цифровой обработки сигналов (ЦОС), установленный после смесителя промежуточной частоты. Некоторые из них также могут непосредственно дискретизировать всю коротковолновую часть спектра (0 Гц — 30 МГц). Одним из преимуществ программно-определяемых радиосистем является то, что их характеристики не ухудшаются со временем, поскольку многие критически важные аналоговые компоненты частично заменяются цифровыми

алгоритмами. Другое преимущество этих систем состоит в том, что для достижения тех же характеристик, для которых в аналоговых радиостанциях требуются дорогостоящие компоненты, в частности смесители или фильтры, в данном случае используются более экономичные элементы — например, аналого-цифровые преобразователи (АЦП) и процессоры ЦОС. Благодаря интеграции в одном кремниевом устройстве нескольких блоков, таких как смесители для подавления помех по зеркальному каналу, генераторы и АЦП, появилась возможность создавать новые архитектуры приемников, которые очень сложно реализовать с помощью дискретных компонентов. Одним из примеров таких устройств служат универсальные ВЧ-приемопередатчики AD9363/AD9364, в составе которых объединены все ВЧ-блоки аналогового входного интерфейса, блоки обработки смешанных сигналов и цифровые блоки, имеющиеся как в тракте приема, так и в тракте передачи. Если к такому приемопередатчику подключить ПЛИС типа FPGA, которая будет управлять потоками цифровых данных, входящих в устройство и выходящих из него, то для создания полноценной радиостанции останется только приобрести антенны, усилители мощности и программные алгоритмы, работающие на компьютере.

Для демонстрации возможностей приемопередатчика AD9363, показанного на рис. 3, ADI предлагает программно-определяемую радиосистему ADALM-PLUTO. Это недорогой аппаратный инструмент, предназначенный для разработки приложений, в которых применяются принципы программно-определяемых радиосистем. Приемопередатчик AD9363 имеет полосу 20 МГц для приема и передачи и может легко принимать как узкополосные, так и широкополосные



сигналы транспондера нисходящей линии связи Es'hail-2 после того, как с помощью внешних средств их частота будет понижена до его диапазона частот 235 МГц — 3,8 ГГц. При этом он может передавать на частотах восходящего канала без использования внешнего преобразователя с повышением частоты. Еще одной полезной особенностью по сравнению с устройствами того же класса и цены является наличие двух портов как для

приема, так и для передачи, благодаря чему прибор может работать в полнодуплексном режиме. Как правило, радиолюбительская аппаратура функционирует в полудуплексном режиме (вы либо говорите, либо слушаете), но возможность принимать собственные передаваемые сигналы в реальном времени позволит вам понять, осуществляется ли четкая модуляция или необходимо увеличить/уменьшить мощность передачи. Это также

предоставляет возможность корректировать направленность передающей антенны после настройки приемной антенны.

Существует несколько бесплатных программных пакетов, в основном написанных самими радиолюбителями и обеспечивающих в ADALM-PLUTO как передачу, так и прием. Одним из примеров является SDR Console Саймона Брауна (радиолюбительский позывной G4ELI). Это программное обеспечение реализует

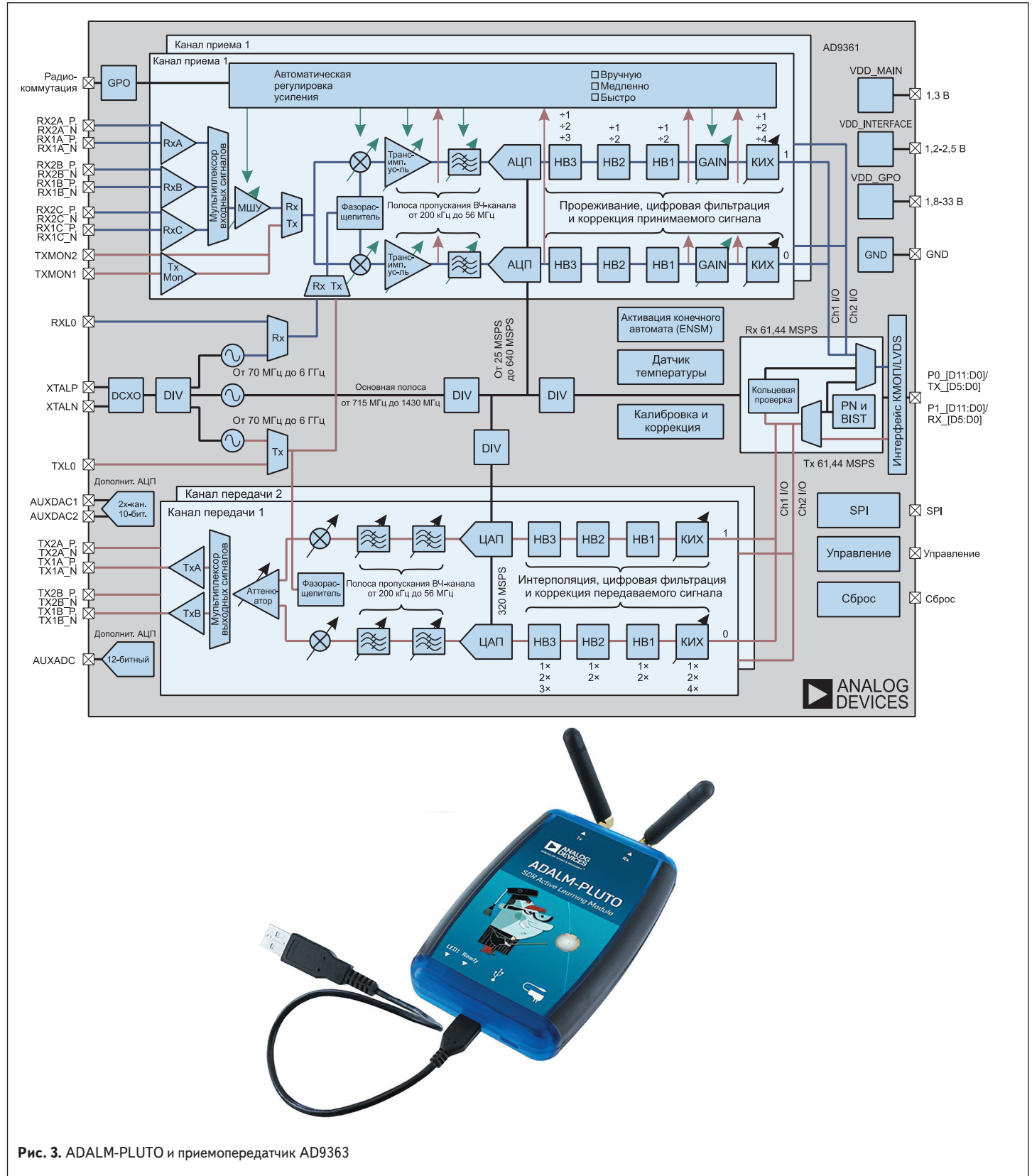


Рис. 3. ADALM-PLUTO и приемопередатчик AD9361

управляющий интерфейс между пользователем и приемопередатчиком и осуществляет демодуляцию и модуляцию.

Спутниковая радиостанция на основе программно-определяемой радиосистемы

Радиолюбители известны тем, что предпочитают создавать собственное оборудование и перепрофилировать существующее оборудование под свои нужды. Самой дешевой альтернативой профессиональной радиоаппаратуре, содержащей приемные антенны и преобразователи с понижением частоты, является обычная спутниковая тарелка для коммерческого спутникового телевидения и малозумящий блочный преобразователь (МБП). МБП имеет в своем составе волновод и преобразователь с понижением частоты, которые преобразуют входящий сигнал нисходящей линии связи с частотой 10,450 ГГц в сигнал с частотой менее 1 ГГц, чтобы этот сигнал попадал в диапазон приема программно-определяемой радиосистемы. Для выполнения модуляции таких типов, как манипуляция непрерывной волны (несколько десятков герц) или однополосная модуляция (менее 3 кГц), требуется наличие высокостабильных гетеродинов, позволяющих избежать непрерывной перенастройки — это менее критично для типов широкополосной модуляции, например тех, что используются в телевидении (несколько мегагерц). Согласно действующим стандартам блоки компенсации частотного сдвига и долговременного дрейфа вследствие влияния повышенной температуры должны присутствовать в любой современной цифровой аппаратуре связи. К сожалению, для многих схем узкополосной модуляции, реализуемых радиолюбителями, нет подобных стандартов, и применение таких блоков не является обязательным, но при этом предполагается, что точность ФАПЧ или частоты дискретизации и дрейф в малозумящем блочном преобразователе или в сигналах основной полосы будут идеальными. Чтобы убедиться в правильности этого предположения, иногда используют источник опорных тактовых импульсов с высокой точностью и низким дрейфом. Поскольку многим радиолюбителям удобнее менять частоту этих источников, чем реализовывать сложные методы цифровой

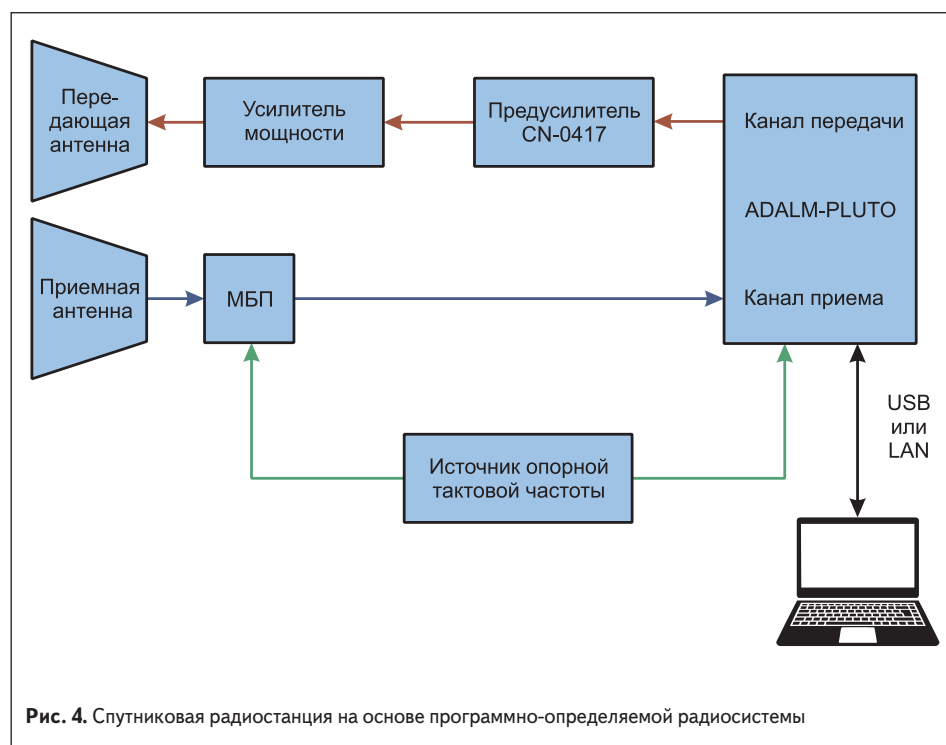


Рис. 4. Спутниковая радиостанция на основе программно-определяемой радиосистемы

обработки сигналов, большинство использует такое простое решение.

Поскольку частоты восходящей линии связи находятся в диапазоне 2,4 ГГц, в котором работают беспроводные локальные сети, то лицензированные радиолюбители могут перепрофилировать под свои нужды существующее оборудование для беспроводных локальных сетей, в том числе усилители мощности и антенны с высоким коэффициентом усиления. ADALM-PLUTO имеет выходную мощность около 5 дБм, что недостаточно для управления усилителем мощности с выходной мощностью в несколько ватт. Типовой проект CN-0417, в основе которого предусмотрен усилитель мощности ADL5606 с мощностью 20 дБ, а питание осуществляется с помощью преобразователя LTM8045, выполненного в виде микромодуля с архитектурой SEPIC, позволяет получить достаточный коэффициент усиления, чтобы преодолеть это ограничение. На рис. 4 показана блок-схема возможного устройства такой радиостанции на основе ADALM-PLUTO. Эту радиостанцию также можно быстро ввести

в эксплуатацию в полевых условиях для осуществления экстренной связи.

Заключение

Подводя итоги, можно сказать, что сегодня в области радиосвязи мы наблюдаем заметную тенденцию перехода к технологии программно-определяемых радиосистем. Это стало возможным благодаря объединению в одном устройстве различных блоков обработки аналоговых и смешанных сигналов. К непосредственным преимуществам такого перехода можно отнести экономичность, повышенную надежность и возможность быстрой перенастройки.

Здесь также можно процитировать слова вице-президента AMSAT Дрю Гласбрэннера (Drew Glasbrenner), являющегося к тому же радиолюбителем с позывным KO4MA: «Пусть сотый спутник OSCAR станет путеводной звездой для будущих радиолюбительских спутников и ракетносителей, выводящих полезное оборудование на геостационарную орбиту и за ее пределы». ■