

Перспективное развитие дальности и устойчивости связи для IoT вплоть до космоса. Технологии и стандарты Wi-Fi, RAN с поддержкой NTN и спутниковой связи VSAT: от SCPC к TDM/MF-TDMA

Жосс Бомон

В статье рассмотрено современное состояние и перспективное развитие технологий сотовой, спутниковой, беспроводной (Wi-Fi) и гибридной связи с поддержкой стандартов RAN и NTN – в том числе для автоматизации и увеличения дальности управления устройствами в системе Интернета вещей (IoT). Раскрываются особенности каждого вида связи с упором на расширение дальности и покрытия устойчивой связи, в том числе организованной через спутники околоземной орбиты.

От старого к новому

В век космических скоростей вся связь, особенно в формате международного трафика сетей Интернет, идёт через спутниковую коммуникацию. О чём говорить, если современная ракета-носитель выводит на космическую орбиту спутник всего за 108–110 секунд. Сотовые операторы активно задействуют спутниковую связь. Используются либо низколетящие спутники, при достаточном количестве группировки обеспечивающие

зоной охвата всю Землю, либо спутники на геостационарной орбите.

Если говорить об анахронизмах эпохи, условно устаревшие сети сотовой связи охватывают более 80% населения мира, но менее 40% поверхности суши и менее 20% общей поверхности планеты Земля – только из-за невозможности расположить ретрансляторы повсеместно. В то же время спутники более 30 лет используются для обеспечения устойчивой связи в формате максимального, повсеместного покрытия. Один из реальных примеров – телефоны-коммуникаторы спутниковой связи. Другое дело, что высокая стоимость ограничивает их использование очень специфическими сценариями, такими как телевидение и радиовещание,

связь высших должностных лиц, связь для обеспечения критической инфраструктуры и в условиях боевых действий.

Почему будущее за спутниковой связью VSAT и NTN?

До сего дня оборудование спутниковой связи не является доступным для массового обывателя, однако благодаря современным разработкам в области РЭА и покорению космического пространства в сфере IoT спутниковая связь всегда была разумной альтернативой сотовой связи, а теперь стала и её частью. Впрочем, спутниковые телефоны за 30 лет прошли путь значительной модернизации, и форм-фактор их изменился. Если три десятка лет назад это был «чемодан», современный спутниковый телефон приобрёл вид, приближенный к обычному сотовому телефону. Стоимость же спутниковых телефонов разного функционала отличается в разы. Если представленная на рис. 1 модель Thuraya XT-LITE продаётся свободно по цене 18 тыс. руб., то наиболее перспективная модель спутникового телефона Iridium 9575 Extreme с всенаправленной антенной, общим весом 247 г и ёмкостью аккумулятора 2300 мА/ч стоит более 230 тыс. Кроме непосредственно связи он обеспечивает сигнал SOS, отслеживание местоположения, Интернет, GPS. Спутниковые терминалы, такие как Iridium GO (рис. 2) и спутниковые трекеры моделей NAL Research Iridium 9602-LP или Iridium SBD «Linkpoint SmallCraft», позиционируются в ценовом сегменте 130–180 тыс. руб. На рис. 3 представлен спутниковый трекер Iridium SBD «Linkpoint SmallCraft».

В отличие от мобильного телефона, терминал спутниковой связи обладает значительно более широким функцио-



Рис. 1. Вид спутникового телефона модели Thuraya XT-LITE с бесплатной SIM



Рис. 2. Вид спутникового терминала модели Iridium GO

налом, может содержать средства для банковских транзакций, а также ориентирован на стационарное подключение к стандартной электрической сети 230–240 В. В терминал также встроен аккумулятор повышенной относительно спутникового телефона ёмкости – для случаев автономного использования оборудования.

Поговорим об определениях и смыслах. Технология VSAT (Very Small Aperture Terminal) относится к малой спутниковой станции, терминалу спутниковой связи с антенной небольшого размера и используется с начала 1990-х годов. По современной классификации к VSAT относятся абонентские спутниковые станции с антеннами диаметром менее 2,5 м, типичными считаются размеры антенн для волн 1,8–2,4 м в С-диапазоне, от 0,9 до 1,8 м в Ku-диапазоне и до 1–1,2 м в Ka-диапазоне. Для антенн размером в десятки сантиметров, применяемых на мобильных спутниковых станциях, иногда используется название «микро-VSAT». Название VSAT применяется к станциям, оснащённым как зеркальными антеннами («тарелками»), так и антенными решётками аналогичной апертуры. Как правило, для VSAT применяется упрощённая процедура получения разрешений на использование частот [5].

Сеть радиодоступа RAN (Radio access network) позиционируется как часть мобильной телекоммуникационной системы с современной технологией беспроводного радиодоступа между электронными цифровыми устройствами (смартфон, ПК, ПЛК и даже ПДУ, адаптированным в системе IoT) и обеспечивает взаимодействие с базовой сетью. В зависимости от стандарта связи РЭА, подключённую по беспроводной сети, называют пользовательским оборудованием, терминальным оборудованием, мобильной станцией и др. При этом функциональность RAN обеспечивается кремниевым чипом, расположенным как в базовой сети, так и в пользовательском оборудовании.

NTN – вовсе не производитель подшиппников с производством в Японии. 5G и 6G NTN (Non-Terrestrial Networks) – это стандарт, разработанный изначально в Samsung Electronics для взаимодействия в мобильном формате планшетных компьютеров, смартфонов и других электронных устройств в Internet of Things (IoT). Нередко о том же говорят, как о пятом и шестом поко-

лении сотовой связи. Околоземные сети (NTN) обеспечивают глобальный доступ к таким сервисам, как мобильный Интернет, голосовая связь и передача текстовых сообщений, видеоконтент, автоматическое дистанционное командное управление и др.

В последние годы стоимость решения VSAT и NTN снизилась. Как и оборудование для RAN, эти системы становятся всё более доступны по цене не только шейхам из ОАЭ, где доходы от нефтедобычи являются предметом вождения и зависти олигархов со всего цивилизованного мира. В результате экономически целесообразно использовать связь NTN для устройств Интернета вещей через спутниковые системы и обеспечить «связи повсюду». NTN превратилась в предпочтительный канал связи в различных сценариях, включая сеть экстренной связи или разгрузку трафика из наземных сетей в часы пик. Такие отрасли, как автомобилестроение, энергетическая инфраструктура, сельское хозяйство, морское судоходство, железные дороги и другие, нуждаются в непрерывной и устойчивой глобальной связи. Классический пример системы спутниковой связи – канал SCPC (Single Channel per Carrier – один канал на несущую). Технология SCPC используется для организации выделенного спутникового канала «точка-точка». Таков принцип работы по выделенной частоте для индивидуальных спутниковых телефонов, которые, впрочем, вполне можно применять и в формате «конференции» между несколькими корреспондентами. На спутнике выделяются две полосы частот: одна – для работы «станции 1» в направлении «станции 2», вторая – для работы «станции 2» в обратном направлении. В такой системе каналаобразующими устройствами являются спутниковые модемы: осуществляющие преобразование последовательных данных в радиочастотный сигнал и обратно, а также помехозащитное кодирование передаваемых данных.

Каналы SCPC активно используются операторами сотовой связи посредством модемов с интерфейсами G.703, можно через спутник даже подключить удалённую базовую станцию сотовой сети. Эти возможности наряду с другими определяют перспективы развития IoT при связи и управлении РЭА через спутник. Ещё интереснее тенденции развития спутниковой связи в направ-



Рис. 3. Спутниковый модем Iridium SBD «Linkpoint SmallCraft»

лении от SCPC к TDM/MF-TDMA. Подробнее об этом в [12].

Центральная земная станция (ЦЗССС) – специальный тип станции спутниковой связи наземного базирования, обслуживающей связь между абонентскими станциями и объединяющей их в спутниковую сеть. Радиочастотное оборудование ЦЗССС, обеспечивающее передачу сигналов синхронизации в цифровом формате, может использоваться одновременно модемами разных направлений. Однако из-за того, что количество информации, передаваемой в единицу времени, на центральной станции больше, чем на периферийных, ЦЗССС должна иметь антенну большего размера и большую мощность передатчика [12].

Такая сеть будет эффективной, если все направления загружены равномерно и постоянно. Однако трафик реальных сетей со связью через Интернет пульсирующий: телефонные разговоры могут начинаться и заканчиваться внезапно, в разное время суток оборудование используется по-разному. В такой ситуации сеть типа «звезда» (прообраз см. рис. 5) на основе закреплённых каналов будет работать плохо. Одно направление может быть перегружено, в это же время другое направление не востребовано. Полосы закреплены за каждым направлением, и использовать полосу одного направления для нужд другого невозможно. Одно из возможных, но спорных с точки зрения эффективности связи решений – арендовать и оплачивать ёмкость на спутнике, выбранную исходя из максимальных потребностей всех направлений, хотя фактическая загрузка может быть меньше в разы [12].

Сеть спутниковой связи МСРС/SCPC и полосы, занимаемые на спутнике

Частично проблема разрешается использованием более современ-

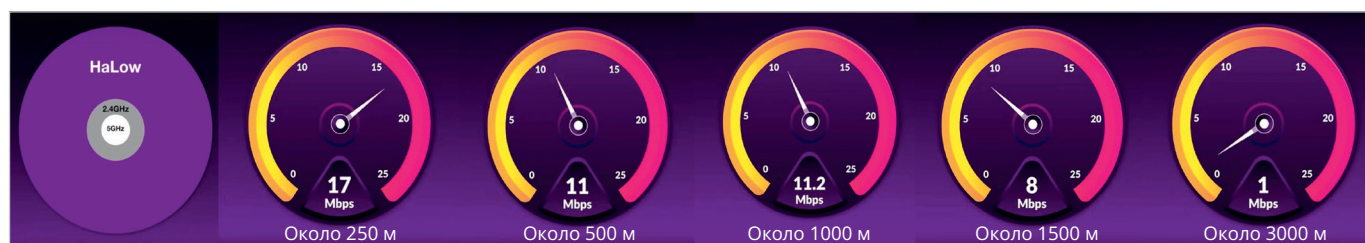


Рис. 4. Иллюстрация скоростей при устойчивой связи на разном расстоянии между корреспондентами, участвующими в радиосвязи по Wi-Fi

ной технологии MCPC/SCPC. MCPC – Multiple Channels per Carrier – несколько каналов на одну несущую. Условно центральная (основная) станция использует для передачи всем абонентским станциям сети единственную несущую. Разделение данных, предназначенных разным абонентским станциям, осуществляется не по частоте, а по времени. ЦЗССС передаёт данные для абонентских станций в едином цифровом потоке. Каждая абонентская станция принимает весь поток, а свои данные выбирает на уровне данных, по служебным маркерам-заголовкам. Это иллюстрация возможности относительно более эффективно использовать полосу, предназначенную для передачи «от центра к периферии»: основная станция перераспределяет трафик в динамическом режиме в зависимости от потребностей конкретной абонентской станции. Однако на ЦЗССС сохраняется набор модемов по количеству направлений, для каждой абонентской станции требуется новая выделенная полоса. Сети MCPC/SCPC используют в случаях, когда небольшое количество периферийных станций потребляют большой и непредсказуемый (пульсирующий) трафик, а обратный трафик от станций невелик и стабилен.

В качестве реального примера можно привести сети DVB-S2/SCPC на оборудовании фирмы Advantech. Каждая абонентская станция принимает данные в общем, разделяемом по времени канале DVB-S2 (частный случай MCPC), а передаёт в персональном выделенном канале SCPC. Платформа Advantech интересна тем, что позволяет быстро и относительно недорого построить корпоративную сеть, а с ростом числа абонентов с минимальными затратами перейти к типичной VSAT формата TDM/MF-TDMA.

В нашей реальности пока много территорий и участков на планете Земля за пределами покрытия сотовой связи. Экстремальные виды спорта требуют

наличия подключённого устройства на случай чрезвычайной ситуации, могут помочь гибридные (совмещённые) устройства с подключением к сотовой связи и NTN. То есть доступные и компактные спутниковые телефоны, о которых мы рассказали выше. То же касается техногенных катастроф и боевых действий в условиях намеренного глушения эфира. Удалённые промышленные установки также нуждаются в спутниковом IoT. Морские перевозки, нефтяные вышки в акваториях по всему миру и даже поезда – из-за не сплошного покрытия территории сотовыми операторами – эпизодически оказываются за пределами зоны действия сотовой связи. Подробнее об этом в [3].

NTN может обеспечить надёжное соединение для мониторинга и управления устройствами и автоматически системами на основе РЭА даже в удалённых местах. К примеру, 3GPP разработал собственные стандарты, обеспечивающие рост рынка как для широкополосной связи NTN, так и для IoT-NTN-LTE-M и NB-IoT. Для обеспечения стандартизации Российский институт стандартизации под эгидой Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии с запозданием, но всё же выпустил в 2022 году ТУ для системы спутниковой связи «Спутник-А» разработки инженеров России, где регламентированы процессы формирования кадровой структуры, канального кодирования, модуляции для системы цифровой спутниковой связи. Подробнее о регламенте в [7].

Ожидаемое расширение зоны действия Wi-Fi

Стандарт Wi-Fi HaLow, он же IEEE 802.11ah, представлен ассоциацией Wi-Fi Alliance ещё 8 лет назад. Недавно поставлен рекорд в дальности передачи данных по Wi-Fi на 3000 метров. На расстоянии в 3 км обеспечивался видеопоток с артефактами – некритичными для восприятия искажениями видеоконтента, но с качественным звуком [6].

Формат беспроводной передачи данных Wi-Fi HaLow предназначался для поддержки устройств с низким энергопотреблением и ограниченным радиусом действия, тем не менее значительно превышающим типичный Wi-Fi. Недавние тесты показали, что Wi-Fi HaLow обеспечивает стабильное соединение на относительно дальних расстояниях. Но есть нюанс: скорость передачи данных в таком режиме снижается с удалением между корреспондентами, участвующими в связи. На рис. 4 представлена иллюстрация разных скоростей при устойчивой связи на разном расстоянии между корреспондентами, участвующими в радиосвязи по Wi-Fi.

Новые форматы

Возможность подключения к околоземной сети (NTN) определила новый тип микросхем для IoT, позволяя развёртывать подключённые устройства и установки на больших расстояниях от планеты Земля. Некоторые электронные устройства оснащаются автономными чипами, ориентированными на связь только со спутниковым оборудованием, в то время как другие используют гибридные наборы микросхем с поддержкой как наземной, так и околоземной связи. Да, стандарт беспроводной связи Wi-Fi HaLow имеет сверхнизкое энергопотребление, особенно в сравнении с новейшим Wi-Fi 7. Перспективность технологии Wi-Fi 7 продемонстрировали тесты, показавшие, что микросхема Morse Micro MM6108 с Wi-Fi HaLow (рис. 5) способна поддерживать соединение на расстоянии до 3 км. Эти разработки только условно могут заменить Wi-Fi 6 или перспективный Wi-Fi 7, но использование предложенной инновации окажется эффективным в ряде сценариев.

Wi-Fi HaLow функционирует в диапазоне 850–950 МГц на узких полосах в 1/2/4 или 8 ГГц. Так удаётся полу-



Рис. 5. Внешний вид Morse Micro MM6108 со встроенным модулем Wi-Fi HaLow

чить высокую проникаемость сигнала сквозь пространство и материалы и хорошую производительность в «шумных» средах, переполненных гаджетами. Означенные преимущества позволяют реализовать поддержку «умных домов» и в целом зданий, IoT (Интернет вещей), носимых устройств и критически важной инфраструктуры. Wi-Fi HaLow работает с тысячами одновременно подключённых электронных устройств, обеспечивая пропускную способность 32 Мбит/с и выше. Такой скорости достаточно, чтобы отказаться от обустройства систем видеонаблюдения с использованием дорогих и неудобных в прокладке кабелей. Подробнее об этом в [4].

Вернёмся к недавнему эксперименту по увеличению дальности связи по Wi-Fi, подробно описанному в [6]. Для определения дальности и скорости сигнала один из участников эксперимента совершил видеозвонок и начал отдаляться от точки доступа Wi-Fi. «Тестеру» удалось отойти на расстояние в 3000 метров: видеопоток стал прерываться с ухудшением изображения, а скорость снизилась до 1 Мбит/с. При этом сигнал оставался и качество звука не ухудшалось. Тестирование проводилось на пляже, примыкающем к оживлённой автомагистрали вблизи жилого района (рис. 6). Wi-Fi HaLow продемонстрировал, что теория сходится с практикой – обилие помех не повлияло на качество и дальность приёма сигнала. Можно говорить о некоторых перспективных направлениях по разработке устройств для новых стандартов Wi-Fi и целеполагании для достижения лучших и конкурентных результатов в дальности обеспечения связи. Уже сейчас с использованием микросхемы Morse

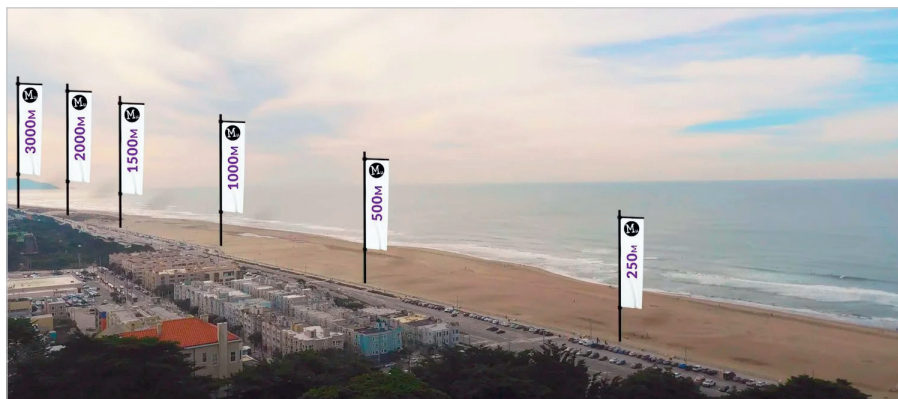


Рис. 6. Иллюстрация к эксперименту на дальность распространения сигнала Wi-Fi

Micro MM6108 с встроенным модулем Wi-Fi HaLow удалось достигнуть:

- условно неограниченного диапазона (скорость передачи данных до 32,5 Mbps);
- низкого энергопотребления;
- хорошего (устойчивого) проникновения сигнала через материал стен и конструкций;
- высокой скорости передачи данных для Интернета вещей с устойчивым доступом в Интернет.

Такие перспективы видятся для развития беспроводной связи бытового и некритичного промышленного назначения.

Минусы беспроводной техники связи

Минусы любой беспроводной технологии достаточно известны, и среди них – подверженность влиянию средств глушения радиоволн. Эта особенность касается и всех рассматриваемых систем беспроводной связи. На рис. 7 представлено устройство-глушитель в корпусе небольшого формата, позволяющее на дистанции до 50 метров нейтрализовать связь по радиоканалу не только любых сотовых операторов и GPS, но и Wi-Fi. Ещё 5 лет назад такое устройство можно было приобрести вполне легально по цене до 10 тыс. руб. [5].

Ограничения в России и перспективы Wi-Fi

Wi-Fi 6E работает на частоте 6 ГГц как более быстрый относительно предыдущих версий Wi-Fi по скорости передачи данных, а потому эффективный и востребованный стандарт. Однако для полноценного использования необходимо официальное разрешение на использование диапазона частот. Поэтому устройства, использующие эти стандарты, пока работают только в тестовом режиме с огра-



Рис. 7. Устройство – глушитель радиоканалов TG2000-121A

ниченным функционалом, что мешает широкому распространению в России. Наш портал недавно сообщал о проблематике явления в России [1].

Производители устройств и продавцы электронной техники фирм DNS, Huawei, Samsung и др. обратились в Минцифры России с просьбой обновить список радиоэлектронных устройств, требующих регистрации в Роскомнадзоре, и закрепить конкретный диапазон частот за Wi-Fi формата 6E и 7E. Напомним, что распределение частот и в целом политика лицензирования РЭА в области связи, в том числе космической, «бытовой» и радиолюбительской, в компетенции подразделения Роскомнадзора – Главного радиочастотного центра (ГРЧЦ). Легализация и регламент частот для условно новых форматов Wi-Fi (6E и 7E относительно давно используют в Европе и США) ускорят внедрение новых технологий в России и повысят конкурентоспособность российской электронной промышленности. Это необходимо сделать как можно скорее. Упомянуты стандарты Wi-Fi, работающие на частоте 6 ГГц, и отмечается, что по состоянию на начало 2024 года известно, что Госкомиссия выделила диапазон частот для использования Wi-Fi 6E.

Некоторые нюансы

Однако этот диапазон до сих пор не является закреплённым исключи-

тельно за стандартом Wi-Fi, что может вызвать проблемы при использовании устройств, работающих на данных частотах [1, 11]. То есть документ, касающийся регистрации оборудования, не приведён в соответствие с решением комиссии. В правоприменительной практике нашей страны это объясняется шаблонностью, типизацией и традициями: любой указ до самого высшего уровня исполнительной власти или постановление гражданской администрации не является моментальным посылом к действию. Для органов исполнительной власти вслед за «высоким решением» любого уровня разрабатывается порядок исполнения постановления (указа). Это типичная норма, по сути – регламент, где прописано «как», «кто», «когда» и «что». По времени между постановлением и регламентированным порядком иногда проходит более одного года. Это мешает полноценной работе в стране многих устройств и может затруднить распространение Wi-Fi 7. Проблема проявляется не только в правовом поле: современные устройства Wi-Fi функционально определяют своё местоположение и транслируют данные о нём в цифровом виде, то есть – каждое под контролем. Ещё одна деталь: возможно, ушедшие из России производители не обновят настройки своего оборудования и при завершении оформления стандарта в России. Но не будем «падать раньше выстрела», дождёмся событий, ибо понятно, что осложнения на рынке РЭА никому не нужны, даже ушедшим производителям оборудования. В этой связи особенно интересным становятся новые инициативы и достижения в области связи через околоземную орбиту по спутниковой технологии – стандарту RAN с поддержкой NTN и др., о чём поговорим далее.

О попытках ограничения связи

В январе 2024 года три региона России – Псковская, Новгородская и Ленинградская области объявили, что ограниченное время, примерно 5 ночей, на территории не будет работать мобильный Интернет LTE (технология 4G) всех операторов [6, 11]. В анонсах сообщалось, что отключение сетей необходимо для проведения работ «по перенастройке частот вещания». При этом после отключения формата 4G продолжает работать

стандарт 3G – несколько устаревший и не обеспечивающий выдающейся скорости передачи данных при прочих равных условиях. Сложно ли в таких обстоятельствах оперативно вызвать оперативные службы, такси (по сотовой связи и в мобильном приложении к ней) или пользоваться услугами банкоматов, пока установить не удалось. Однако по авторскому опыту ясно, что ситуация влияет на скорость передачи данных в глобальной сети Интернет, в частности, при скачивании и передаче условно больших объёмов информации; при объёмах в несколько гигабайт скорость обмена данными снижалась по ночам примерно в 3 раза. Понятно, что ограничивают не столько сотовую связь, сколько Интернет как способ оперативного общения и информационную систему.

Возможно, отключение сетей по технологии 4G связано с визитом на эти территории высокопоставленных лиц в сопровождении Федеральной службы охраны (ФСО). В указанные даты проходил визит в Россию президента Белоруссии Александра Лукашенко, встречи на высшем уровне проводили в Санкт-Петербурге и Ленинградской области. Ещё одна версия состоит в том, что ограничение скорости Интернета, которое в некоторых изданиях называли «отключением», сделано для обеспечения беспомехового пространства для БПЛА, ибо с их помощью в ночное время обеспечивались меры безопасности. Разумеется, экстренное «глушение Интернета» произойдёт в любое время, если поступит соответствующее распоряжение. Надо заметить, что в последнее время связь «бытового» (бытового) электронного оборудования со спутниками GPS претерпевает изменения, есть примеры, когда сигнал GPS воспринимается искажённым даже на уровне восприятия автомобильных систем – путевых навигаторов. Прямо говоря – не обеспечивается точность определения объектов, что делает некоторое специфическое электронное оборудование условно бесполезным. Предполагается, что для наведения на цель БПЛА используют сигнал GPS (именно поэтому его специально искажают), в дневное время собственные камеры наблюдения, в ночное – ориентацию на вышки-ретрансляторы сотовой связи на земле или в комплексе навигационных факторов.

История вопроса и реалии сегодня

В июле 2023 г. (как и эпизодически ранее) в России проводились тестовые учения по отключению российского сегмента Интернета от метавселенной (глобальной сети) с сохранностью работы российских сервисов. Мероприятия проводили в Центральном федеральном округе ночью и только на мобильных сетях связи [6]. Случаются и общие «сбои». Так, сбой функционала сайтов в зоне RU 30 января 2024 года побудил многих вспомнить об инфраструктуре «суверенного рунета». Уместно вспомнить о Национальной системе доменных имен (НСДИ), действующей как структура Роскомнадзора. Использование НСДИ осуществляется операторами связи, собственниками или иными владельцами технологических сетей связи, организаторами распространения информации в сети Интернет, пользователями услуг связи, а также иными лицами, которым необходимы сведения, содержащиеся в национальной системе доменных имён. В НСДИ хранится копия корневой зоны DNS с информацией о всех доменах верхнего уровня, а «оригиналом» корневой зоны DNS управляет международная организация ICANN. Исходно НСДИ создавалась и позиционировалась как защита от других рисков – гипотетического удаления зоны RU по желанию ICANN. Роскомнадзор после сбоя публично порекомендовал использовать национальную систему через резолвер, «чтобы пользователи всегда имели возможность доступа к ресурсам» [6, 11].

Перспективы Wi-Fi 7 и не только

Роутер с Wi-Fi 7 модели BE3600 2.5G представила компания Xiaomi. Такой модем обеспечивает высокую пропускную способность до 3,57 Гбит/с, поддерживая до 128 подключённых устройств. От конкурентов девайс отличается высокая производительность до 3600 Мбит/с, «интеллектуальное» подключение – с автоматическими подстройками и небольшая цена, примерно 3010 рублей в пересчёте с юаней по состоянию на январь 2024 года. Благодаря поддержке Wi-Fi 7 роутер может объединить 2 диапазона передачи данных (технология MLO), а именно 2,4 ГГц и 5 ГГц для достижения максимальной скорости. Устройство превосходит стандарт Wi-Fi 6 примерно на 44% по фактической пропускной спо-



Рис. 8. Внешний вид маршрутизатора Xiaomi BE3600 2.5G



Рис. 9. Элемент, созданный по многослойной технологии для поверхностного монтажа

способности и на 48% – в теоретической [14]. Также маршрутизатор поддерживает технологию квадратурной амплитудной модуляции 4QAM и технологию OFDMA (множественный доступ с ортогональным частотным разделением). Это позволяет оптимально распределять ресурсы в зависимости от потребностей подключённых устройств. Внешний вид устройства представлен на рис. 8.

Xiaomi BE3600 2.5G оснащён 4-ядерным процессором от Qualcomm с частотой до 1,1 ГГц (мощность 10120 DMIPS), 256 Мбайт памяти и четырьмя антеннами с высоким коэффициентом усиления. Благодаря им роутер может похвастаться максимально широким радиусом покрытия со стабильным сигналом. Для проводного соединения предусмотрен 2,5 гигабитный WAN-порт, а также три LAN-порта по 1 Гбит/с каждый. Есть поддержка подключения к IoT-устройствам и возможность объединения до 10 роутеров для создания единой сети.

Тенденции спутниковой связи для автоматизации устройств Интернета вещей

По обоснованным динамикой подключений и статистическими данными прогнозам IoT Analytics, количество пользователей спутникового IoT в период с 2021 по 2026 год резко (с прибавлением на 22% в среднем в год) вырастет: с 5,5 млн в 2022 году оно достигнет к 2026 году 13,5 млн [2]. Спутниковая связь NTN для носимых устройств и маломощных устройств Интернета вещей действительно развивается, об этом можно прочитать в [4, 8, 13].

В продукты, соответствующие стандартам Wi-Fi 6E и Wi-Fi 7, использующие высокоскоростную беспроводную связь, устанавливают несколько антенн

для повышения скорости и качества связи. Тенденция прослеживается и в уменьшении в сторону компактности «электронной части» устройств на основе микропроцессоров, с акцентом на новые материалы и конфигурацию антенны. Так, компания Murata разработала современное решение и электронное устройство, чтобы повысить эффективность антенны за счёт магнитной связи паразитного элемента с антенной. Таким образом уменьшаются потери полезного сигнала. Это первое в мире (по состоянию на 2023 год) решение для продуктов Wi-Fi 6E и Wi-Fi 7. Разработчикам смартфонов, планшетов, сетевых маршрутизаторов, игровых консолей и другой компактной электроники это позволяет создавать эффективные антенны – ключевое требование для многих современных устройств с ограниченной дистанцией распространения сигнала. Для этих целей компания Murata представила устройство сопряжения элементов, изготовленное по многослойной технологии в виде четырёхконтактного компонента для поверхностного монтажа размером всего 1,0×0,5×0,35 мм (рис. 9).

Для решения задачи компактности устройства требуется разработать антенны малого размера из современных наноматериалов с высоким КПД и низкими потерями, определяя при настройке и выбор места размещения антенного хозяйства, приближённого к «1» коэффициента стоячей волны (КСВ). А это для приемлемого согласования импеданса возможно только для антенн узкого диапазона волн. При этом разработчики учитывают, что эффективность широкополосных антенн снижается при их миниатюризации, и конструируют «компромиссные» решения, обеспечивающие как миниатюризацию, так и высокую

производительность оборудования. При уменьшении размера антенны ёмкостная связь между антенной и паразитными элементами (противовесом) уменьшается, а связь между элементами антенны и землёй увеличивается. В этом направлении уместно совершенствовать методы проектирования миниатюрных антенн с минимальным влиянием на эффективность антенного хозяйства в относительно широком диапазоне волн (связи). Антенна может вызвать несогласование импеданса при использовании в широком диапазоне, что ведёт к ухудшению производительности и дальности беспроводной связи. Кроме того, при подключении антенны с несогласованным импедансом с помощью коаксиального кабеля относительно большой длины, то есть притом что оборудование связи стандарта Wi-Fi и антенное хозяйство устанавливают стационарно в разных помещениях или удалённо друг от друга, потери сигнала увеличиваются. Теперь есть возможность улучшить согласование антенн и сохранить пользу беспроводной связи даже при использовании длинных кабелей [10].

Представленный элемент для установки в антенные конструкции связи уместно использовать в различных устройствах, где предусмотрены антенны, включая ноутбуки и смартфоны, ПК и ПЛК, цифровые видекамеры, игровые приставки, маршрутизаторы-роутеры, устройства для телевидения, автоматизации, ПДУ, xR (AR, VR) и многое другое. Нелишним будет заметить, что антенны в устройствах микроэлектроники могут иметь разную конфигурацию, в том числе для устройств, работающих на частотах гигагерцового диапазона радиоволн, это могут быть даже небольшие спиральные или прямоугольной формы участки печатной платы, направленные



Рис. 10. Подключение антенного модуля к коммуникациям с волновым сопротивлением 50 Ом

ные в виде вектора (подключённые к элементам схемы только с одной стороны). Способы улучшений согласованности антенн для сверхвысокочастотных устройств связи представлены на рис. 10 (без кабеля) и рис. 11 с использованием участка коаксиального кабеля. Причём во втором случае разработчики признают эффективность в увеличении расстояния для связи и уменьшении влияния сторонних факторов – помех разного свойства [10].

Устройство связи «паразитных элементов», разработанное в фирме Murata, соединяет питающую антенну с другими элементами более эффективно, чем это возможно через свободное пространство (см. рис. 12).

Представлена иллюстрация устройства связи с паразитным элементом и эффекта в виде широкой полосы пропускания сигнала и в целом – улучшения КПД антенны. Элемент (рис. 12) по форм-фактору является крошечным устройством, но обеспечивает высокую



Рис. 11. Подключение в виде элемента антенны участка коаксиального кабеля длиной 700 мм

производительность связи без использования магнитных материалов, что было бы неуместно на сверхвысоких рабочих частотах. Элемент с низкими вносимыми потерями с одной стороны подключается между ВЧ-выходом радиочастотной электронной схемы устройства и основной антенной. Другая сторона элемента подключается между противовесом (заземлением) и «паразитным элементом». В результате инновация позволяет улучшить резонансные характеристики всей антенны. А это обеспечивает эффективную работу в более широком диапазоне частот и в нескольких дискретных диапазонах [10].

На рис. 13 представлена схема подключения антенны без нового элемента. На рис. 14 – вид антенной конструкции с инновационным типом антенного элемента, улучшающим характеристики всей системы связи.

Особенности новых элементов спутникового оборудования для системы IoT

Компании Skylo и Murata в сотрудничестве работают над расширением

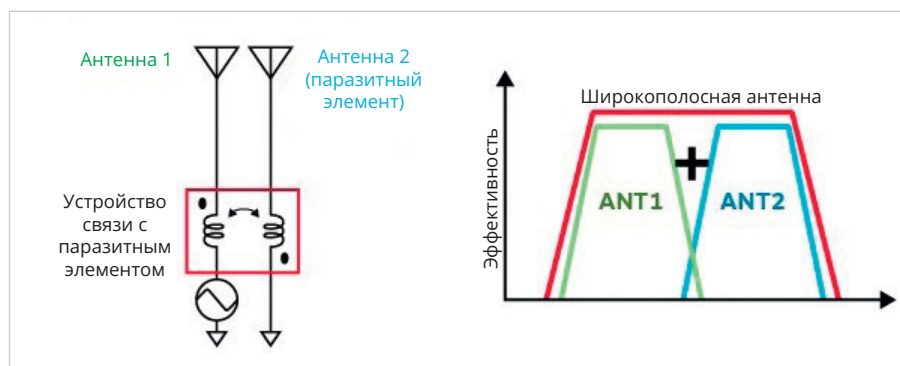


Рис. 12. Принцип включения нового антенного элемента

доступности спутниковой связи для широкого спектра IoT-устройств и носимых устройств для обеспечения новых «прорывных» возможностей, запросов клиентов и вызовов завтрашнего дня. Команда Anritsu провела первое тестирование спутника 5G NB-IoT в 2023 году [13]. На мировом рынке современной электроники решения от Skylo «бесшовной связи в одном модуле» оценили по достоинству; ведущие OEM-производители и разработчики применяют их для обеспечения связи в разных условиях и задачах. На наших глазах создают новый класс систем Интернета вещей без усложнения конструкции и дополнительных затрат на оборудование. Skylo Technologies – поставщик услуг NTN, базирующийся в Маунтин-Вью, штат Калифорния (США), позволяет смартфонам и сотовым устройствам IoT подключаться напрямую через действующие на орбите спутники. Устройства, подключённые через спутник, управляются и обслуживаются коммерческой виртуальной сетью vRAN NTN Skylo, включающей облачную базовую станцию и ядро на основе стандартов 3GPP. С помощью совместимых сотовых устройств связи доступна возможность переключения между радиосвязью, организованной в разных слоях воздушного пространства (атмосферы Земли), от зоны, отдалённой на 20 км от поверхности (тропосферы), до стратосферы, мезосферы, термосферы, ионосферы к экзосфере – околоземной космической орбите для спутников. А это уже «космические высоты» с расстоянием до Земли в 10 000 км и более. Таковы технологии, основанные на новейших стандартах RAN с поддержкой NTN и др. Околоземные сети (NTN) состоят из спутников геостационарной экваториальной орбиты (GEO), средней околоземной орбиты (MEO) и низкой околоземной орбиты (LEO), а также систем на высотных платформах (HAPS), в том числе могут использоваться беспилотные дирижабли или самолёты с высотой «полётного потолка» более 20 км, а также БПЛА и дроны [8].

NTN-элементы и модуль OpenMCU к спутнику NB-IoT

Сочетание околорельсовой сети Skylo (NTN) с усовершенствованным, сверхмалым, маломощным сотовым IoT-модулем Type 1SC (LBAD0XX1SC) от Murata обеспечивает бесперебойное

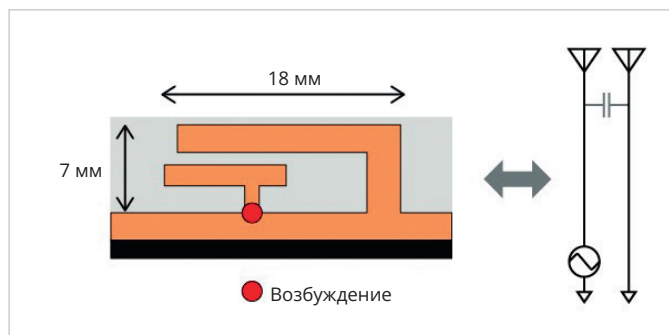


Рис. 13. Вид типичной высокочастотной антенны без нового элемента

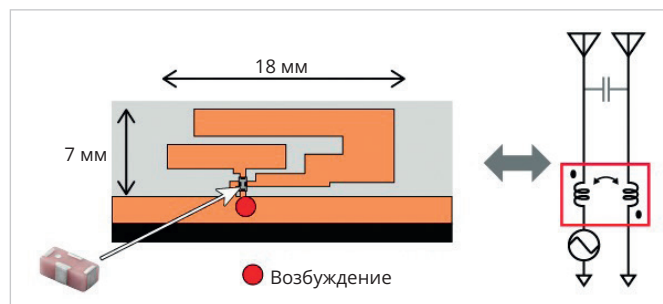


Рис. 14. Вид антенной конструкции с инновационным типом антенного элемента, улучшающим характеристики всей системы связи

и повсеместное подключение. Skylo Technologies – поставщик услуг NTN, базирующийся в Маунтин-Вью, штат Калифорния (США), позволяет смартфонам и сотовым устройствам IoT подключаться напрямую через действующие на орбите спутники. Устройства, подключённые через спутник, управляются и обслуживаются коммерческой виртуальной сетью vRAN NTN Skylo, включающей облачную базовую станцию и ядро на основе стандартов 3GPP. Модуль Type 1SC (с встроенным элементом, показанным на рис. 12) претендует на звание самого маленького модуля форм-фактора LTE Cat M/NB-IoT со спутниковой NTN. Модуль, внешний вид которого представлен на рис. 15, поддерживает GPS/GNSS, OpenMCU и интегрированную SIM-карту, что позволяет использовать новое ПО и приложения, среди которых двухрежимный сотовый Интернет вещей.

Модуль адаптирован к современным спутниковым системам и не требует замены уже действующего оборудования. В табл. 1 представлены технические и эксплуатационные характеристики модуля Type 1SC для LTE Cat M/NB-IoT со спутниковой NTN [9].

На рис. 16 представлена блок-схема модуля Type 1SC (LBAD0XX1SC) от Murata.



Рис. 15. Модуль Type 1SC для LTE Cat M/NB-IoT со спутниковой NTN

Отечественным разработчикам будет полезна сопутствующая информация о LTE-M – аббревиатуре LTE Cat-M1, или Long Term Evolution (4G), категория M1. Такая технология позволяет устройствам Интернета вещей подключаться напрямую к сети 4G без шлюза и, как правило, с автономным питанием от батарей. LTE-M, включающий eMTC (расширенная связь машинного типа) – тип стандарта радиотехнологии малой мощности глобальной сети (LPWAN), разработанный 3GPP для обеспечения широкого спектра сотовых устройств и услуг (в частности, для адаптации и взаимодействия разных устройств связи) и приложений IoT. В марте 2019 года Глобальная ассоциация поставщиков мобильной связи сообщила, что более 100 операторов развернули/запустили сети NB-IoT

Таблица 1. Технические и эксплуатационные характеристики модуля Type 1SC для LTE Cat M/NB-IoT со спутниковой NTN

Наименование	LBAD0XX1SC
Назначение	Промышленный
Поддержка диапазона LTE	Низкие диапазоны 5, 8, 12, 13, 14 (только CAT M1), 17, 18, 19, 20, 26, 28 Средние диапазоны 1, 2, 3, 4, 25
Чипсет	Altair ALT1250
Модуляция	LTE Cat.M1/NB-IoT, выпуск 13 (выпуск 14 – обновление ПО)
Антенна	Внешняя
Системные часы	Встроенный 26 МГц (TCXO) и 32 кГц (X'Tal)
Мин. рабочая температура, °C	–40
Макс. рабочая температура, °C	+85
Тип монтажа	LGA
Габариты	11,1×11,4×1,5 мм (макс.)
Напряжение интерфейса	1,8 В
Напряжение питания	2,85–4,35 В
Мощность передачи	+23 дБм макс.
Класс мощности	Оптимизирован для вых. мощности LTE класса 3
Ток спящего режима	Потребление тока eDRX (в среднем)/LTE-M: 43 мкА Потребление тока PSM (в среднем)/LTE-M: 1,4 мкА
Хост-интерфейс	UART
РоХС	Да
Возможности программного обеспечения	AT-команды, стек IPv4/IPv6 с протоколами TCP и UDP, SSL/TLS, MQTT, OpenMCU (опционально), GPS/ГЛОНАСС (опционально), iUICC (опционально)
Проверка стандартов	FCC/IC/RED/TELEC/KC/NCC GCF/PTCRB
Варианты исполнения	1СК-ДМ
	1СК-СМ
	1СК-iUICC
	1СК-GPS/ГЛОНАСС
	1СК-Открытый MCU

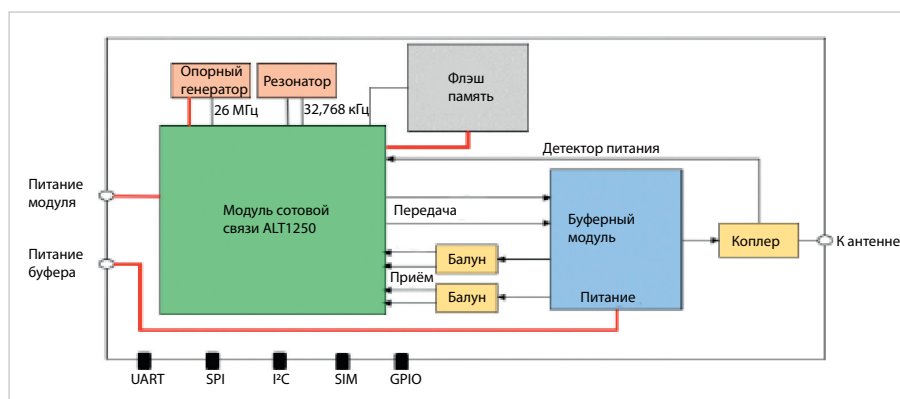


Рис. 16. Блок-схема модуля Type 1SC (LBAD0XX1SC) производства Murata

Таблица 2. Некоторые характеристики модулей улучшения связи со спутниками от компании Murata

Модуль части	Тип	Вносимые потери (тип.)*		DCR (Макс)
		Частота измерений	ИЛ (дБ)	(Ом)
LXPC15ANA1-001	Для среднего/высокого диапазона	1,7 ГГц	0,1	0,2
LXPC15AHR1-002	Для среднего/высокого диапазона (зеркальный тип -001)			
LXPC15ALA1-003	Для нижнего диапазона	1,7 ГГц	0,1	0,4
LXPC15ALR1-005	Для нижнего диапазона (зеркальный тип -003)			
LXPC15AUA1-008	Для диапазона Sub6G	3,3 ГГц	0,2	0,3
LXPC15AUR1-009	Для диапазона Sub6G (тип зеркала -008)			
LXPC15AWA1-012	Для Wi-Fi 6E	6 ГГц	0,35	0,3
LXPC15AWR1-013	Для Wi-Fi 6E (тип зеркала -012)			

*Измерения проводились с открытыми портами 3 и 4 и подключёнными портами 1 и 2; данные включают поправку на потери на отражение порта 2.

или LTE-M. Подробно об этом на сайте GSMA в [15].

LTE-M имеет более высокую скорость передачи данных, поддерживает мобильность и передачу голоса по сети, но требует большей пропускной способности, чем NB-IoT, и не может быть помещён в диапазоны частот защитной полосы, как NB-IoT.

В табл. 2 представлены некоторые характеристики модулей улучшения связи со спутниками от компании Murata.

Отличительные особенности околоземных сетей (NTN) GEO и LEO

Действующие спутниковые системы, используемые для услуг связи IoT/M2M, основаны на спутниках GEO и LEO. Бытует мнение, что спутниковые группировки GEO связаны с условно устаревшими системами спутниковой связи, тогда как спутниковые услуги LEO предоставляются сочетанием существующих и новых возможностей. Система спутников LEO позиционируется предпочтительным вариантом для операторов, предлагающих услуги подключения в формате IoT/M2M как относительно быстрое и недорогое средство создания и развёртывания сети, каналов связи с высокой добротностью и доступностью орбитальных маршрутов. Кроме того, LEO обеспечивает лучшее прохождение сигнала, чем GEO, из-за меньшей высоты их орбиты [8].

GEO обеспечивает большую зону действия, поэтому для глобального покрытия требуется меньше спутников. Это преимущество. Спутники GEO кажутся неподвижными, если

увидеть их с помощью специального оборудования из фиксированной точки, они вращаются с той же скоростью и направлением, что и планета Земля. Поэтому наземные антенны ориентируются на спутник без необходимости отслеживать его положение, примерно так же, как установленная в одной точке (стационарно) гиперболической формы антенна спутниковой связи принимает сигнал спутникового ТВ. Такой же подход позволяет использовать технологии GEO относительно недорогим способом, в то же время спутниковое оборудование имеет длительный срок службы.

Время прохождения для спутника GEO составляет примерно 600–800 мс, тогда как спутник LEO передаёт данные в оба направления в диапазоне 30–50 мс. Это может создать впечатление, что группа спутников LEO лучше обеспечивает функционал приложений реального времени. Однако современные сети IoT LEO имеют ограниченное количество спутников на орбите, которые пока не способны обеспечить непрерывную связь корреспондентов между любыми точками, а обеспечивают лишь периодическую связь. Цифровые данные в стабильном режиме можно получать с устройств IoT только несколько раз в 24 часа во время движения спутников на участках околоземной орбиты. В результате группировки GEO лучше подходят для приложений, работающих в режиме, близком к реальному времени, чем спутники формата LEO.

Будущее Интернета вещей

Будущее IoT, повышение автоматизации и управляемости, а также стабиль-

ности и устойчивости связи на высоких частотах волн (диапазон ГГц) к внешним воздействиям выглядит перспективным и зависит от развития и внедрения технологий в области сотовой связи RAN, спутниковой связи VSAT и eSAT стандарта TDM/MF-TDMANTN и надёжности соединений в связи NTN. Для повышения эффективности и надёжности соединений NTN разрабатываются электронные устройства с низким энергопотреблением в области радиосвязи и усовершенствованные схемы модуляции. Из других исследований мы знаем, что основной конкурентный тренд в разработках АКБ и в целом источников питания для переносных устройств (в том числе связи) стремится к преобразованию энергии солнца, ветра, воды, движения конечностей и даже пота человека. На малых дистанциях развивается направление Li-Fi – передача информации на расстояние с помощью световых трансиверов. Можно говорить о том, что перспективы развития дальности связи новейших стандартов Wi-Fi не ограничены тремя километрами, а простираются вплоть до космоса, однако это пока не так. Тем не менее технологии продолжают развиваться и совершенствоваться. Компании операторов связи настойчиво работают над сокращением затрат на запуск и обслуживание спутников LEO, делая нетрадиционную пока связь с использованием NTN для приложений IoT доступной для предприятий любого масштаба.

С развитием технического прогресса возможность подключения NTN, Wi-Fi, VSAT и др. всё более востребована в удалённых и труднодоступных районах. В космосе всё больше спутников на основе современной РЭА. Поэтому следует ожидать развития Интернета вещей на всех уровнях, включая «космический» и бытовой с подключениями в означенных форматах. Основные же направления конструкторской мысли определены в обеспечении дальности и устойчивости качества связи, создания миниатюрных эффективных элементов питания для автономных электронных устройств (в том числе связи) и обеспечения защиты информации, передаваемой посредством беспроводной связи, в том числе её кодирования, модулирования и корректного восприятия команд управления электронными устройствами на большом расстоянии.

Литература:

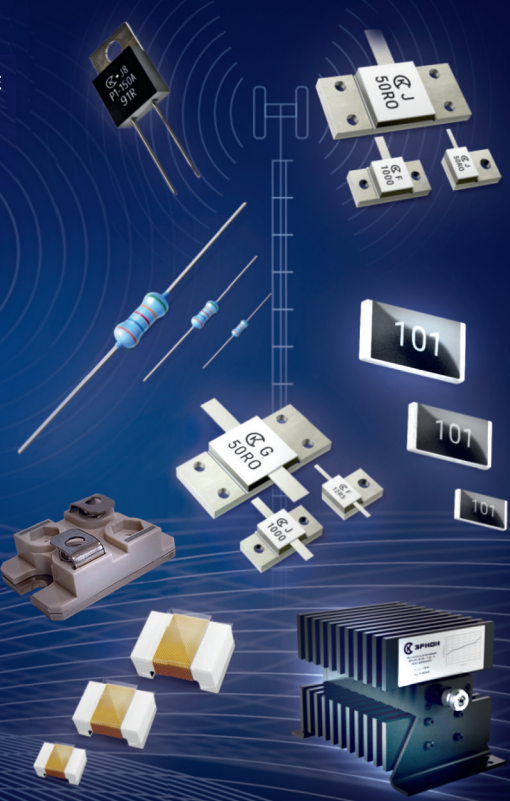
1. В настоящее время в России не узаконены частоты для Wi-Fi 6E и Wi-Fi 7 // URL: <https://www.cta.ru/news/soel/178199.html>.
2. Запуск IoT на орбите // URL: <https://www.eenewseurope.com/en/running-iot-through-the-skies/>.
3. *Кашикар А.П.* Электронные устройства, управляемые компьютером, и не только. М.: ДМК Пресс, 2013. 112 с.
4. *Кашикар А.П.* Управление и настройка Wi-Fi в своём доме. М.: ДМК Пресс, 2016. 64 с.
5. *Кашикар А.П.* Электронные устройства для глушения беспроводных сигналов (GSM, Wi-Fi, GPS и некоторых радиотелефонов). М.: ДМК Пресс, 2016. 96 с.
6. Перекрывают рубильник. В России по ночам отключают мобильный Интернет LTE. Зачем? // URL: <https://www.dk.ru/news/237197350>.
7. Росстандарт. ТУ для Системы спутниковой связи «Спутник-А» // URL: [https://www.murata.com/products/connectivitymodule/lpwa/overview/lineup/type-1sc?parent-baobab-id=ls7m8xuz7c](https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1707045837&tld=ru&lang=ru&name=78290.pdf&text=%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%B4%D0%B0%D1%80%D1%82%20%D1%81%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9%20%D1%81%D0%B2%D1%8F%D0%B7%D0%B8&url=https%3A%2F%2Ffiles.stroyinf.ru%2FData%2F782%2F78290.pdf&lr=2&mime=pdf&l10n=ru&sign=e44f797347f5739a424983c8dafbaa89&keyno=0&serpParams=tm%3D1707045837%26tld%3Dr%26lang%3Dr%26name%3D78290.pdf%26text%3D%D1%25D1%2581%25D1%2582%25D0%25B0%25D0%25BD%25D0%25B4%25D0%25B0%25D1%2580%25D1%2582%2B%25D1%2581%25D0%25BF%25D1%2583%25D1%2582%25D0%25BD%25D0%25B8%25D0%25BA%25D0%25BE%25D0%25B2%25D0%25BE%25D0%25B9%2B%25D1%2581%25D0%25B2%25D1%258F%25D0%25B7%25D0%25B8%26url%3Dhttps%253A%2F%2Ffiles.stroyinf.ru%2FData%2F782%2F78290.pdf%26lr%3D%26mime%3Dpdf%26l10n%3Dr%26sign%3De44f797347f5739a424983c8dafbaa89%26keyno%3D0).
8. Спутниковая связь NTN для носимых устройств и маломощных устройств Интернета вещей // URL: <https://www.eenewseurope.com/en/satellite-ntn-connectivity-for-wearables-and-low-power-iot-devices/>.
9. Тип 1SC LBAD0XX1SC // URL: <https://www.murata.com/products/connectivitymodule/lpwa/overview/lineup/type-1sc?parent-baobab-id=ls7m8xuz7c>.
10. Устройства сопряжения паразитных элементов // URL: <https://www.murata.com/en-eu/products/antenna/parasitic-element-coupling-device>.
11. Шесть забытых гигагерц. Легализация нового диапазона для Wi-Fi в России затормозилась // URL: <https://www.kommersant.ru/doc/6467626>.
12. Эволюция сетей спутниковой связи VSAT: от SCPC к TDM/MF-TDMA // URL: <https://satcomservice.ru/dvbrs.html>.
13. A World's First: Murata Enables Better Wi-Fi 6E and Wi-Fi 7 Antenna Design with Cutting-Edge Parasitic Element Coupling Device // URL: <https://www.murata.com/en-eu/news/antenna/parasitic-element-coupling-device/2023/1207>.
14. Xiaomi представила самый дешёвый роутер с Wi-Fi 7 // URL: <https://hi-tech.mail.ru/news/106094-xiaomi-predstavila-svoj-samyj-deshevyj-wi-fi-7-router/>.
15. Long Term Evolution for Machines: LTE-M // URL: <https://www.gsma.com/iot/mobile-iot-technology-lte-m/>.
16. 3000 метров: поставлен рекорд в дальности передачи данных по Wi-Fi (видео) // URL: <https://hi-tech.mail.ru/news/106166-postavlen-rekord-v-dalnosti-peredachi-dannyh-po-wi-fi/?from=swap&swap=2>.





ЭРКОН

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ



ПРОИЗВОДСТВО, РАЗРАБОТКА И ПОСТАВКА ПОСТОЯННЫХ РЕЗИСТОРОВ, АТТЕНУАТОРОВ И ЧИП-ИНДУКТИВНОСТЕЙ

- Современная производственная база
- Высокое качество
- Индивидуальный подход к потребителю
- Изделия по вашему ТЗ

НОВИНКИ

Эквиваленты нагрузок ПР1-24 (от 50 Вт-2000 Вт)
 Аттенуаторы ПР1-25 (от 50 Вт - 2000 Вт)
 ТПИ - тепловые чип-перемычки
 СВЧ-резисторы Р1-160 (до 40 ГГц)
 Мощные СВЧ-резисторы Р1-170 (до 1000 Вт)
 Силовые резисторы Р1-150М (до 1500 В)

603104, Г. Нижний Новгород, ул. Нартова, д.6.
 тел.: 8 (831) 202 - 24 - 34 (многоканальный)
 8 (831) 202 - 25 - 52 (отдел продаж)
 E-mail: gr@erkon-nn.ru
www.erkon-nn.ru

Реклама