

АНТЕННА ТЕРМИНАЛА СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ «ГОНЕЦ»

В статье представлены результаты разработки квадрупольной антенны в печатном исполнении. Антенна работает на круговой поляризации и обеспечивает в режиме FDMA/TDMA две разнесенные частотные полосы приема/передачи 315 и 390 МГц. Коэффициент усиления в направлении зенита составляет 4,5 дБ, а в направлении 15° над горизонтом — около 0 дБ. Печатное исполнение диполей и гибридный SMD-мост обеспечивают высокую технологичность и выдерживает требуемую мощность передатчика 15 Вт.

Спутниковая связь системы «Гонец» востребована на подвижных объектах, эксплуатирующихся в регионах, где покрытие GSM является неполным или вовсе отсутствует. Приоритетные сегменты: автотранспорт, в особенности междугородный и международный; техника, эксплуатирующаяся в удаленных регионах (карьерные самосвалы, лесозаготовительная техника); морские и речные суда различного назначения, железнодорожный транспорт, контейнерные перевозки; гидрологические и акустические буи и т. п. Отдельным сегментом являются инфраструктурные объекты, например нефтегазовой отрасли, электросетей. Многофункциональная система персональной спутниковой связи (МСПСС) «Гонец-Д1 М» предоставляет каналы подвижной спутниковой связи для мобильных и стационарных абонентов в любой точке земного шара. Связь предоставляется на базе группировки низкоорбитальных космических аппаратов связи «Гонец-М».

По состоянию на IV кв. 2014 г. в составе орбитальной группировки находятся девять спутников «Гонец-М» и один «Гонец-Д1 М». В соответствии с ФКП-2015, запуск трех спутников «Гонец-М» планируется в I кв. 2015 г. с целью доведения состава орбитальной группировки до 12 космических аппаратов «Гонец-М» и двух «Гонец-Д1 М».

Основные характеристики бортового радиотехнического комплекса [1]:

- метод доступа FDMA/TDMA;
- пропускная способность одного аппарата при глобальном обслуживании — 270 Мбит/сут;
- диапазон частот: 390 МГц «вверх», 315 МГц «вниз»;
- скорость передачи 2,4–9,6 Кбит/с «вверх»;
- 9,6–64 Кбит/с «вниз»;
- ЭИИМ — 3,6–18,4 дБВт;
- G/T –26,2 дБ/К.

Зоны радиовидимости региональных станций «Гонец-Д1 М», созданных и планируемых к размещению на территории России, приведены на сайте компании [1].

Антенны обеспечивают необходимые пространственные характеристики приема и передачи радиосигнала и имеют следующие основные характеристики:

- коэффициент усиления в рабочем секторе углов $\pm 75^\circ$ от зенита — 0–6 дБ;
- частота приема 390 МГц;

- частота передачи 315 МГц;
- поляризация — круговая, правая;
- коэффициент эллиптичности в рабочем секторе углов — не хуже 0,4;
- КСВН в тракте 50 Ом — не хуже 2,0.

Антенны могут быть установлены на крышах зданий и в чердачных помещениях в случае покрытия крыши шифером, черепицей и другими материалами, обладающими радиопрозрачностью.

Для решения поставленной задачи была выбрана квадрупольная антенна (рис. 1), которая совместно с трехдецибельным квадратурным мостом позволяет работать на круговой поляризации. Задачей электродинамического проектирования был выбор соотношения вертикальной и горизонтальной длины плеч диполя таким образом, чтобы получить требуемый коэффициент усиления в рабочем секторе углов $\pm 75^\circ$ от зенита. Причем, следовало следить за эллиптичностью поляризации в этом секторе углов. Данная задача решалась с помощью

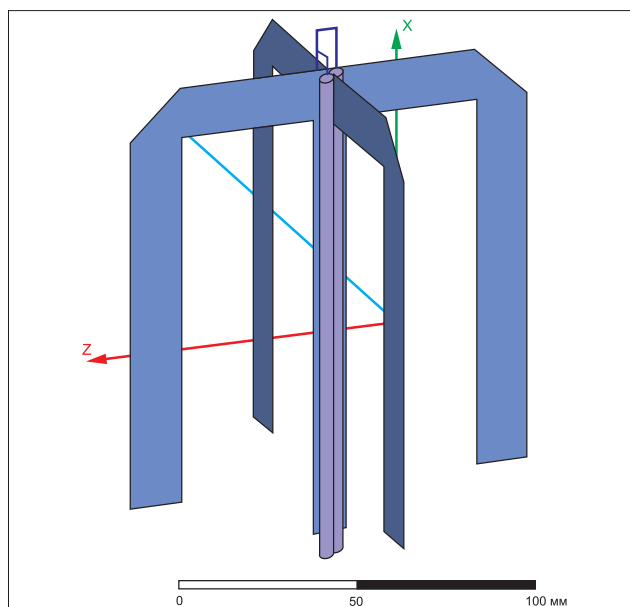
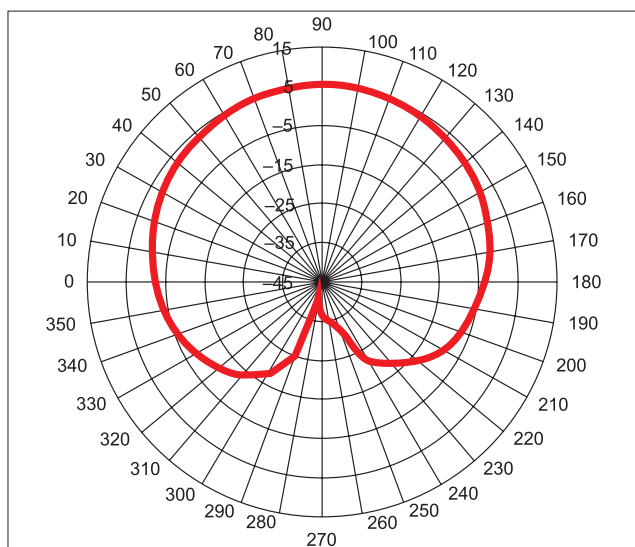


Рис. 1. Конструкция печатной антенны круговой поляризации, питаемой коаксиальным фидером



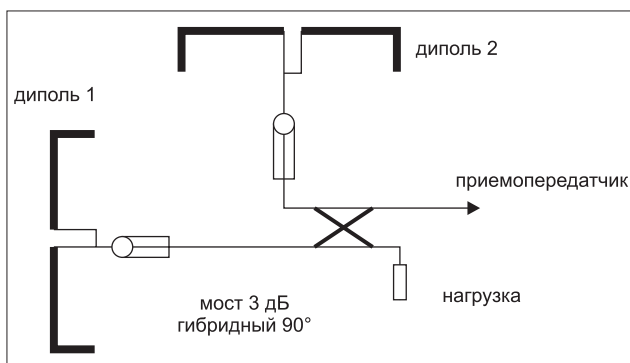
▲ Рис. 2. Сечение ДН по вертикали (круговая поляризация)

пакета на РС, результатом явилась конструкция, показанная на рис. 1, в которой соотношение длин вертикальной и горизонтальной части составило 24 и 76% соответственно.

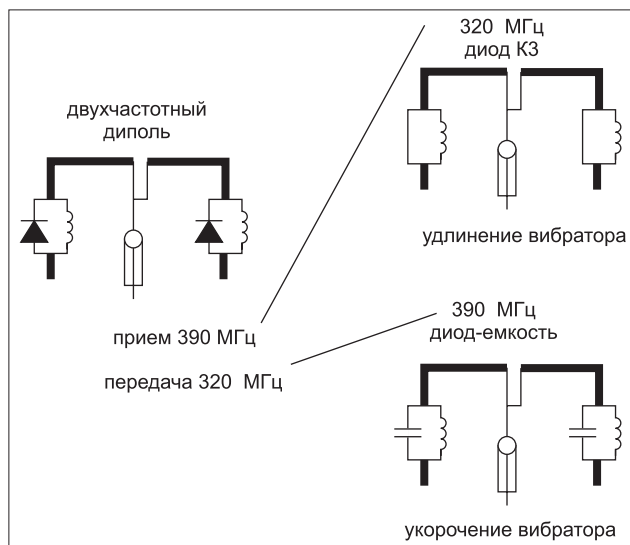
Форма плеч диполя была сознательно выбрана как плоская проводящая поверхность, лежащая на диэлектрике с диэлектрической проницаемостью 4,2. Сразу же предполагалась технология изготовления антенны в виде двух скрещенных стеклотекстолитовых плат толщиной 0,5 мм. Питание диполей осуществлялось с помощью двух тонких коаксиальных кабелей. Электродинамическое моделирование проводили в присутствии у диполя металлического экрана размером 0,5×0,5 м (на рис. 1 экран не показан). Возбуждение диполей выполнено известным в литературе способом [2], с использованием щелевой запирающей линии и четвертьволнового противовеса. В соответствии с осевой симметричностью квадруполь, диаграммы направленности (ДН) в различных сечениях полусферы излучения будут одинаковыми. Одно из таких сечений ДН (круговой поляризации) приведено на рис. 2, из рассмотрения которого видно, что требования ТЗ по коэффициенту направленного действия удовлетворяются как на углах близких к зениту, так и для низких углов.

Выбранный печатный диполь по соотношению ширины тонкого плоского плеча и длины волны не может работать в режиме FDMA в полосе частот 320–390 МГц, что составляет более 20% с нужным КСВН. Исходя из протокола работы спутникового радиотехнического TDMA, была выбрана схема с удлиняющимся плечом диполя, которая обеспечивается введением в печатную плату четырех диодов, по одному в каждое плечо квадруполь (рис. 3). Работа двухчастотного квадруполь поясняется на рисунке 4, из которого следует, что при обратном смещении диод представляет собой емкость и совместно с индуктивностью образует параллельный контур с огромным сопротивлением, который является разрывом, и часть диполя отсоединяется. А при прямом смещении сопротивление диода мало и вместе с параллельно включенной индуктивностью создается короткое замыкание, то есть диполь работает полной своей длиной. Таким приемом удалось получить две полосы по 10 МГц в диапазоне приема и передачи с КСВН не более 1,3.

Действующий макет антенны был обмерен в лаборатории с помощью созданных излучателей круговой поляризации как на частоте 320 МГц, так и на частоте 390 МГц. В этом макете первоначально использовался широкополосный гибридный мост фирмы Mini-Circuit с коаксиальными разъемами (полоса частот 220–470 МГц). Последующая переработка конструкции привела к единой печатной плате подачи смещений на диоды и SMD-моста этой же фирмы–изготовителя. Была проверена



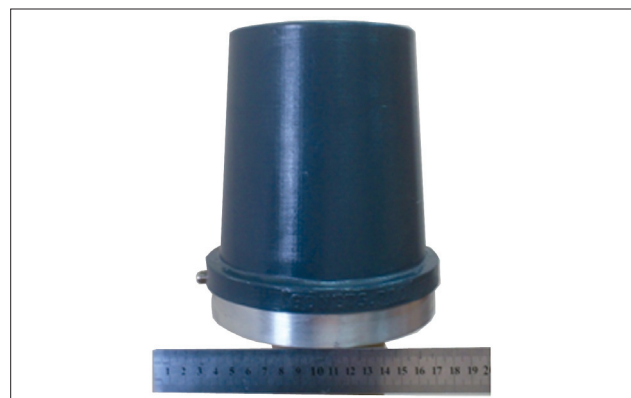
▲ Рис. 3. Схема квадруполь, работающего на круговой поляризации



▲ Рис. 4. Работа диполя на разнесенных частотах 390 МГц (прием) и 320 МГц (передача)

работоспособность мостов и диодов при подаче мощности, составляющей в терминале «Гонец» 15 Вт.

Окончательные испытания квадрупольной антенны (см. рис. 5) проводились совместно с терминалом спутниковой связи при установке антенны на крыше легкового автомобиля. В корпусе антенны были предусмотрены магниты для удобного крепления и демонтажа. В нескольких поездках по Карелии и Ленинградской области проводилась фиксация радиосвязи: с помощью специальной программы записывались тестовые маркеры, а также число состоявшихся сеансов связи. Испытания показали высокий процент успешных сеансов связи с низкоорбитальными спутниками «Гонец».



▲ Рис. 5. Внешний вид антенны в сборе с обтекателем

ЛИТЕРАТУРА

1. www.gonets.ru.
2. Айзенберг Г. З. Антенны УКВ. Часть 2. М.: Связь, 1977.