

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБРАЗЦА АКТИВНОЙ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ ДЛЯ РАДИОЛОКАТОРА КОСМИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ X-ДИАПАЗОНА С СИНТЕЗОМ АПЕРТУРЫ

М.Н. Наумович, С.Р. Гейстер, С.П. Урбанович, В.Т. Ревин, С.А. Кореневский,
А.И. Волковец, Р.А. Богданов, А.П. Юбко
Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники, Минск

Представлены результаты разработки экспериментального образца базовой панели активной фазированной антенной решетки. Панель является функционально завершенным радиолокационным устройством, на основе которого планируется создание экспериментального бортового радиолокатора космического базирования с синтезированной апертурой, в состав которого должны входить 12 панелей, аналогичных базовой. Базовая панель обеспечивает формирование сверхширокополосного зондирующего сигнала с шириной спектра до 200 МГц и излучение его с заданной поляризацией – вертикальной или горизонтальной. В процессе приема отраженного сигнала на заданной поляризации осуществляется его преобразование в цифровую форму, внутрипериодная обработка и синтез апертуры антенны. Производится накопление отраженных сигналов с последующим построением радиолокационного изображения поверхности Земли.

Введение

Бортовой радиолокатор с синтезом апертуры космического базирования (РСА) является источником оперативной информации о наличии, расположении и состоянии различных объектов искусственного и природного происхождения в тех или иных регионах Земли. В отличие от оптических и оптико-электронных средств мониторинга поверхности Земли РСА является всепогодным и успешно выполняет свои функции при наличии плотной облачности, тумана, осадков и задымленности в регионе.

Цель доклада – рассмотрение результатов разработки экспериментального образца базовой панели (фрагмента) активной фазированной антенной решетки (ФАР) РСА. Экспериментальный образец базовой панели (ЭО БП) является функционально завершенным радиолокационным комплексом и предназначен для создания на его основе экспериментального бортового радиолокатора с синтезированной апертурой X-диапазона, состоящего из 12 аналогичных панелей с общим управлением.

Данная работа выполняется в рамках программы Союзного государства «Разработка космических и наземных средств обеспечения потребителей России и Беларуси информацией дистанционного зондирования Земли» («Мониторинг-СГ»).

1. Основные характеристики разрабатываемого изделия

Технические требования к РСА учитывают его эксплуатацию на КА с высотой орбиты 520 ± 20 км. Структурная схема РСА представлена на рис. 1.

Радиолокатор с синтезированной апертурой, состоящий из 12 базовых панелей, при углах отклонения луча $20 \div 60^\circ$ относительно нормали к поверхности Земли должен обеспечить:

– разрешение по дальности в детальном и маршрутном режимах $1,9 \div 2,2$ м, в сканирующем режиме – 15 м;

- разрешение по азимуту в детальном режиме – 1,0 м, в маршрутном режиме – 2,5 м, в сканирующем режиме – 15 м;
- ширину полосы захвата в детальном режиме – 10 км, в маршрутном режиме – 25 ÷ 49 км, в сканирующем режиме – 100 км;
- ширину луча РСА в прожекторном режиме по азимуту 0,33°, по углу места – 2,3°;
- угол сканирования луча РСА в азимутальной плоскости ± 0,75°;
- угол сканирования луча РСА в вертикальной (угломестной) плоскости ± 20°.

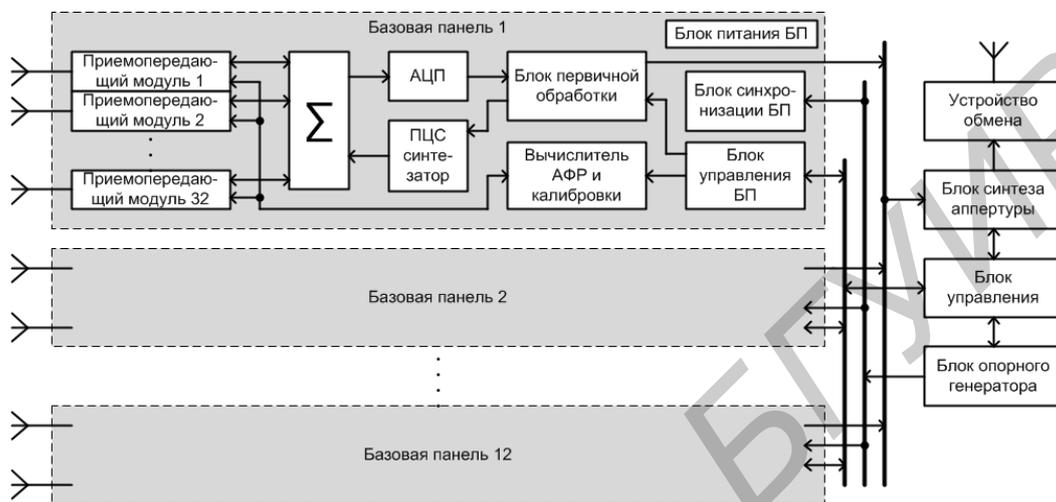


Рис. 1. Структурная схема РСА на основе разработанного ЭО БП

2. Характеристика экспериментального образца базовой панели

Основным элементом РСА является ЭО БП, работающий в диапазоне частот 9,5 ÷ 9,8 ГГц. Ширина спектра зондирующего сигнала не менее 200 МГц, его пиковая мощность не менее 160 Вт, поляризация на передачу и прием переключаемая, вертикальная или горизонтальная. Габаритные размеры ЭО БП – 400 × 800 мм. Угол сканирования луча в вертикальной плоскости ±20°.

В конструкции ЭО БП предусмотрено резервирование функциональных узлов согласно требованиям, которые предъявляются к аппаратуре космического назначения в соответствии с СТБ «Космическая техника. Разработка продукции. Электротехника и электронная техника».

Внешний вид приемопередающих модулей показан на рис. 2, внешний вид разработанного экспериментального образца базовой панели, смонтированной на технологическом стенде, – на рис. 3.



Рис. 2. Внешний вид приемопередающих модулей



Рис. 3. Внешний вид ЭО БП

3. Лабораторные испытания экспериментального образца базовой панели

Для проведения лабораторных испытаний был собран макет ЭО БП, включающий базовую панель и дополнительные устройства, обеспечивающие функциональность на уровне РСА. С обратной стороны линейных антенных решеток расположены приемопередающие модули, входные и выходные разъемы которых подключаются к печатным платам формирования зондирующего сигнала, преобразования и обработки отраженных сигналов.

В ходе лабораторных исследований получены следующие результаты:

– определены параметры панели приемопередающих модулей (пиковая мощность, полоса пропускания, коэффициент шума приемного тракта и др.), которые соответствуют требованиям технического задания;

– проверены функционирование и параметры устройства калибровки ЭО БП, которое формирует корректирующие значения для управления аттенюаторами и фазовращателями 32 приемопередающих модулей;

– проверена работоспособность блока синтеза апертуры, реализованного в виде платы синтеза апертуры антенны (САА).

Исследования тракта калибровки показали, что в нем выполняются относительные оценки отклонения мощности и фазы 31 приемопередающего модуля от номинальных значений по сравнению со значением мощности и фазы приемопередающего модуля 1. В результате калибровки достигается отклонение нормировочного коэффициента мощности каждого канала не более $\pm 0,02\%$ и величина отклонения фазы не более $\pm 0,005\%$.

Для проведения лабораторных испытаний платы САА был собран измерительный стенд, структура которого представлена на рис. 4. Испытания включали в себя формирование временных отсчетов имитируемого принимаемого сигнала в соответствии с исходными данными по перемещению КА, упорядоченную последовательную выдачу этих отсчетов на плату САА, оценку результатов обработки принятого сигнала, поступающего с платы САА. Исходные данные для формирования имитированного сигнала включали: скорость КА $V_{NK_F} = 7595$ м/с, высоту плоскости $H_{N_0r} = 520$ км относительно РСА, на которой размещены три отражателя, значение дальности анализа $r_{SA} = 556698$ м, длительность САА $T_{SAA1} = 1,136$ с, частоту повторения зондирующих сигналов $F_r = 5240$ Гц. Отсчеты отраженных сигналов, сформированные в вычислительной среде MatLab, представляли собой аналог отсчетов кодов АЦП в шестнадцатизрядном знаковом формате с фиксированной запятой.

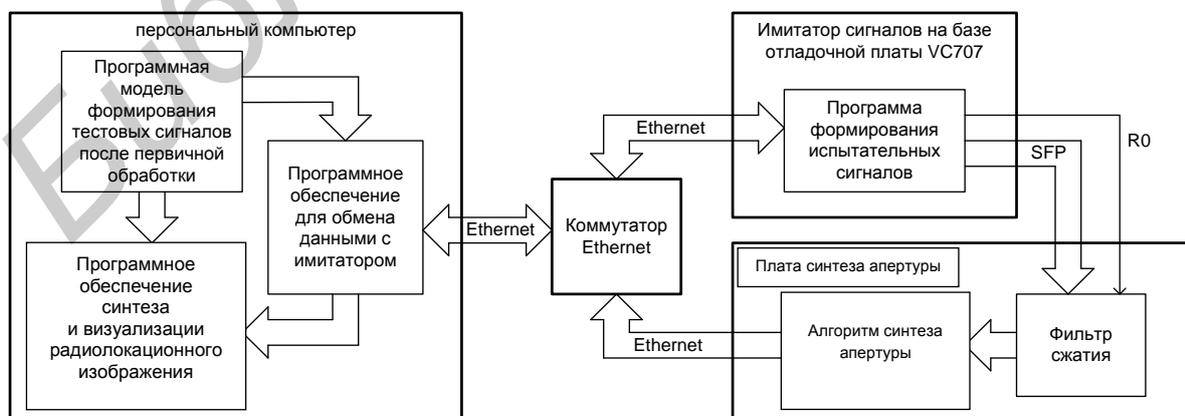


Рис. 4. Структура измерительного стенда для испытаний платы САА

После внутривременной обработки имитированного сигнала в фильтре сжатия по времени и синтеза апертуры сигнал с выхода платы САА по каналу Ethernet поступал в персональный компьютер, в котором осуществлялись синтез и визуализация радиолокационного изображения в плоскости поверхности Земли. Параметры изображения подтвердили требуемые значения разрешения в плоскости наблюдения.

Заключение

В процессе выполнения НИОКР изготовлен и проверен макет ЭО БП, проведена отладка устройства управления фрагмента АФАР, изготовлен экспериментальный образец платы САА, который вместе с макетом ЭО БП позволяет провести его натурное макетирование, разработана методика натурных исследований макета ЭО БП.

Во второй половине 2017 г. планируется проведение наземных натурных экспериментальных исследований ЭО БП. Испытания планируется провести с использованием обращенного синтеза апертуры антенны путем зондирования локальных отражателей, размещенных на движущемся носителе. Для обеспечения соответствия оценок функционирования РСА на орбите КА оценкам, полученным в наземных испытаниях, дальность и скорость перемещения носителя с отражателями определяются из условия эквивалентности, предусмотренного в методике натурных исследований.

Разработанные устройства как в отдельности, так и в комплексе представляют интерес для использования организациями Союзного государства ввиду отсутствия аналогичных РСА, а также для зарубежных потребителей, работающих в области авиационной и космической радиолокации.

Список литературы

1. Методика проверки в наземных условиях линейного разрешения по азимуту радиолокатора с синтезом апертуры космического базирования / С.Р. Гейстер [и др.] // Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. – 2016. – № 6. – С. 24–29.