

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЯХ С СИНТЕЗИРОВАНИЕМ АПЕРТУРЫ СПУТНИКОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Радионович В.В.¹, аспирант

Лобан М.А.², инженер

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь)*

Козлов С.В. – доктор техн. наук

Аннотация. Рассмотрены перспективные технические решения антенн, энергосистемы и опорных генераторов, которые используются в радиолокационных станциях с синтезированием апертуры систем дистанционного зондирования Земли. Приведена структурная схема модельной активной антенной решетки с цифровым диаграммообразованием. Приведены характеристики энергосистемы.

Ключевые слова. синтезирование апертуры, система дистанционного зондирования Земли, модульная антенная решетка, цифровое диаграммообразование, солнечные батареи, стандарты частоты.

Космические радиолокационные станции с синтезированием апертуры (РСА) представляют собой интенсивно развивающееся научно-техническое направление, обеспечивающее получение достоверной информации о земной и водной поверхности и размещенных на ней объектах

независимо от метеорологических условий, времени суток, естественной освещенности, наличия дыма, пыли, растительного или снежного покрова. Ниже приведен анализ перспективных технических решений, используемых в радиолокационных станциях с синтезированием апертуры космического базирования.

Антенная система и передатчик. Одна из основных тенденций современной радиолокации – стремительный рост применения активных фазированных антенных решеток (АФАР) [5]. В настоящее время АФАР используются в РСА космического базирования типа СПИНАР-1ДМ, SIR-C/X-SAR, PALSAR, TerraSAR-X и др.

Типовая структурная схема модульной двухполяризационной АФАР приведена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Структурная схема модульной двухполяризационной АФАР

Схема содержит модули АФАР, являющиеся полноценными приемно-передатчиками с формированием цифрового траекторного сигнала, устройство управления, генератор опорных сигналов и процессор цифрового диаграммообразования. Число модулей в составе крупноапертурной АФАР может составлять 16-64 и определяется двумя факторами:

- производительностью процессора цифрового диаграммообразования и каналов информационного обмена цифровыми сигналами между модулями и указанным процессором;
- возможностью построения модуля на базе приемно-передающих элементов с фазовращателями (выполнения условия пространственно-временной узкополосности).

Так, например, для крупноапертурной АФАР размерами 6x2 метра при длине волны $\lambda = 3$ см, ширине спектра зондирующего сигнала $\Delta f_0 = 150$ МГц и максимальном угле отклонения луча от нормали к плоскости модуля 45° для выполнения требований по пространственно-временной узкополосности для каждого модуля может потребоваться использование 16 модулей в строке (по большей длине 6 м) и 4 модулей в столбце (по длине 2 м). Общее число модулей составит 64. Размеры модулей составят 375x500 мм.

Необходимо отметить, что несомненным достоинством указанной схемы построения крупноапертурной АФАР является высокая надежность. Это обусловлено тем, что при выходе из строя до 15...20% модулей работоспособность АФАР сохраняется при незначительном ухудшении характеристик функционирования. Кроме того, при массовом серийном производстве однотипных модулей упрощается технология их изготовления и снижается стоимость.

Структурная схема модуля АФАР является классической на базе приемно-передающих элементов (ППЭ). Каждый ППЭ включает:

- антенные элементы с горизонтальной и вертикальной поляризацией;
- малошумящие усилители для каналов горизонтальной и вертикальной поляризации;
- фазовращатель и аттенюатор с цифровым управлением каналов горизонтальной и вертикальной поляризации;
- диаграммообразующие устройства (ДОУ) каналов с горизонтальной и вертикальной поляризацией, представляющие собой многовходовые сумматоры СВЧ-сигналов;
- идентичные приемные устройства с переносом на промежуточную частоту и преобразованием в квадратуры;
- аналого-цифровые преобразователи каналов вертикальной и горизонтальной поляризации.

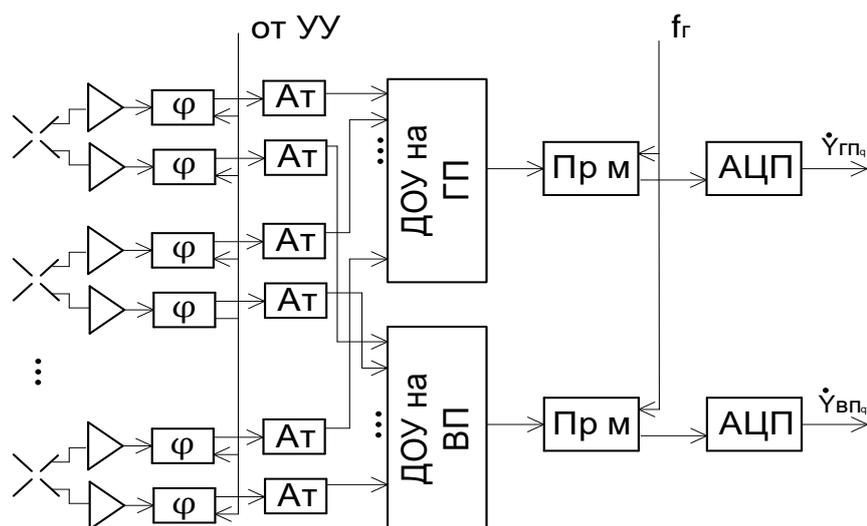


Рисунок 2 – Структура модуля АФАР (приемная часть)

Модуль АФАР работает следующим образом. Отраженные сигналы с произвольной поляризацией принимаются антенными элементами с горизонтальной и вертикальной поляризацией и поступают на входные малошумящие усилители, и, далее, на фазовращатели с аттенюаторы с цифровым управлением. Как правило, фазовращатель и аттенюатор представляют собой комплексированное устройство управления амплитудой и фазой СВЧ-сигналов. Сигналы горизонтальной и вертикальной поляризации каждого ППЭ со скорретированными фазами поступают на диаграммообразующее устройство, которое работает как сумматор, для каждой поляризации, после этого на приемник и аналого-цифровой преобразователь.

Энергосистема. Солнечные батареи (СБ) в настоящее время являются самым распространенным источником энергии для космических аппаратов ввиду экологической чистоты (в сравнении, например, с ядерными элементами питания), значительного ресурса, высокой надежности, масштабируемости к необходимым уровням мощности, относительно себестоимости [2,3].

В качестве материала для изготовления СБ используют кремний и арсенид галлия. При КПД около 8-13% кремниевые элементы имеют удельную мощность $130-180 \text{ Вт/м}^2$ в начале срока эксплуатации, а в конце срока, который длится около 10-15 лет – $70-100 \text{ Вт/м}^2$. При использовании арсенида галлия (из 3-каскадных фотоэлектрических преобразователей) батареи будут иметь КПД 25-28% с удельной мощностью 300 Вт/м^2 в начале срока активной работы и 230 Вт/м^2 в конце [2].

Перспективным направлением развития СБ является создание фотоэлементов на основе наноантенн (ректенн). У ректенн недорогое сырье для производства и потенциальный КПД до 85%. Производство из-за технологических трудностей пока не налажено, но прогнозируется, что после решения проблем ректенны полностью вытеснят солнечные панели [3].

Одним из важных требований к РСА систем дистанционного зондирования Земли является обеспечение максимальной производительности и оперативности съемки заменой поверхности. Это определяет необходимость работы РСА на теновом участке орбиты, что достигается использованием аккумуляторных батарей. На сегодняшний день имеется большое количество вариантов аккумуляторов, изготавливаемых на базе никель-кадмиевой (NiCd) технологии с удельной энергией около $40-60 \text{ Вт}^*\text{ч/кг}$, никель-водородной (NiH₂) технологии с удельной энергией $50-90 \text{ Вт}^*\text{ч/кг}$ и литий-ионной (Li-ion) технологии с удельной энергией $110-160 \text{ Вт}^*\text{ч/кг}$. Литий-ионные аккумуляторы набирают все большую популярность в КА из-за надежности, отсутствия эффекта памяти, и хорошими массогабаритными характеристиками [2].

Опорный генератор. Возможность длительного накопления отраженного сигнала определяется при синтезировании апертуры ограничивается уходом опорной частоты (частоты гетеродина). При максимальном времени синтезирования порядка $T=10 \text{ с}$ уход частоты опорного генератора не должен превысить порядка $0,1...0,2 \text{ Гц}$. Поэтому кратковременную (за 1 с) нестабильность частоты опорного генератора можно оценить величиной $10^{-12}...10^{-11}$ (меньшее значение характерно для Ку-диапазон, большее значение – для L-диапазона). На стабильность частоты в опорных генераторах в первую очередь основной элемент, на котором построен генератор. Так, водородные генераторы (Ч1-75А, СН1-75В, СН176) имеют самую большую долговременную стабильность $10^{-15} / \text{год}$, цезиевых (Times Cesium) $-5 * 10^{-13} / \text{год}$, рубидиевых (PRS10, P400, FE-5660A) $-5 * 10^{-12} / \text{год}$, кварцевых (Астра, М32008, М32011) $-5 * 10^{-8} / \text{год}$ [5,6]. Кратковременная нестабильность указанных генераторов на 2...3 порядка лучше долговременной. В большинстве

случаев при времени синтезирования 1...5 секунд достаточным является использование термостабилизированных кварцевых генераторов. При очень высокой разрешающей способности необходимо использовать рубидиевые стандарты частоты.

Таким образом для космических РСА перспективным является использование АФАР с цифровым диаграммообразованием, в энергосистеме – использование солнечных панелей совместно с литий-ионными аккумуляторами, и термостабилизированных кварцевых генераторов или рубидиевых стандартов частоты в качестве генераторов опорных сигналов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Верба В.С., Неронский Л.Б., Осипов И.Г., Турук В.Э. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования. Верба В.С., ред. Москва, Изд-во Радиотехника, 2010, 680 с
2. Костров В.В., Григас С.Э., Скорынин А.А., Терехов Ю.Е., Энергетическое обеспечение радиолокационных комплексов космического базирования для обнаружения летательных аппаратов, Проектирование электронных Устройств и систем, 2015.
3. Портал про альтернативную энергию [Электронный ресурс] // URL: <https://alter220.ru/solnce/nanoantenny.html>
4. Беляев А.А., Медведев С.Ю., Павленко Ю.К., Сахаров Б. А. Водородный стандарт частоты [Электронный ресурс] // URL: <https://findpatent.ru/patent/214/2148881.html>
5. Селиванов С. И. Рубидиевый стандарт частоты [Электронный ресурс] // URL: <https://findpatent.ru/patent/221/2213364.html>
6. Опорные генераторы. Акционерное общество «Омский научно-исследовательский институт приборостроения» [Электронный ресурс] // URL: <http://oniip.ru/product/97/>