

Многоканальные модули АФАР систем спутниковой связи

А.Г. Ефимов¹, С.А. Корнеев¹, И.А. Костылев¹, В.В. Хворенков²

¹ООО «Ижевский радиозавод»

²Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова

Аннотация: Рассмотрены варианты построения многоканальных приемных и передающих модулей антенных систем на основе АФАР. Представлены критерии выбора числа каналов для модулей различного диапазона и назначения. Приведены оценки энергетических характеристик модулей АФАР различных типов. Даны рекомендации по обеспечению электромагнитной совместимости связных систем.

Ключевые слова: СВЧ диапазон, приемная и передающая АФАР, фазовращатель, плата управления, малошумящий усилитель, усилитель мощности, полосно-пропускающий фильтр.

1. Введение

Использование многолучевых антенных систем в системах связи позволяет за счет

пространственно-частотного разделения расширить зону обслуживания и повысить количество абонентов. Использование активных фазированных антенных решеток (АФАР) дает возможность перераспределять информационную емкость системы связи сканированием независимых лучей с электронным управлением [1].

В данной работе рассмотрены варианты построения многоканальных приемных и передающих модулей АФАР различных частотных диапазонов.

Типовая схема приемного модуля восьми лучевой АФАР приведена на рис.1. Модуль имеет 4 независимых приемных канала. Сигнал поступает на малошумящий усилитель МШУ, коэффициент шума которого определяет чувствительность приемного тракта. Усиленный сигнал поступает на делитель мощности Д8 с 8 выходами, каждый из которых нагружен на дискретный фазовращатель ФВ1...ФВ8. Число фазовращателей, включенных параллельно, определяет число независимых приемных лучей антенны. Сигнал с фазовращателей соответствующих лучей суммируется в лучевых сумматорах С4-1...С4-8. Фазовые команды на фазовращатели, соответствующие фазовым программам для каждого положения луча, формируются платой управления ПУ по командам, поступающим по интерфейсу управления от блока управления БУ АФАР [2]. Плата управления формирует команды телеметрии ТМ. Для простоты схемной и программной реализации часто используется последовательный интерфейс RS-485 со скоростью обмена 921,6 кбит/с.

Если число фазовращателей в канале модуля определяется числом лучей АФАР, то число приемных каналов модуля определяется индивидуально в каждом конкретном случае. Увеличение числа каналов приемного модуля ведет к усложнению схемы модуля, увеличению времени его регулировки и проверки. С другой стороны, увеличение числа каналов позволяет сократить число высокочастотных кабелей для реализации диаграммо-образующей схемы в подрешетке, что позволяет снизить массу подрешетки и надежность изделия.

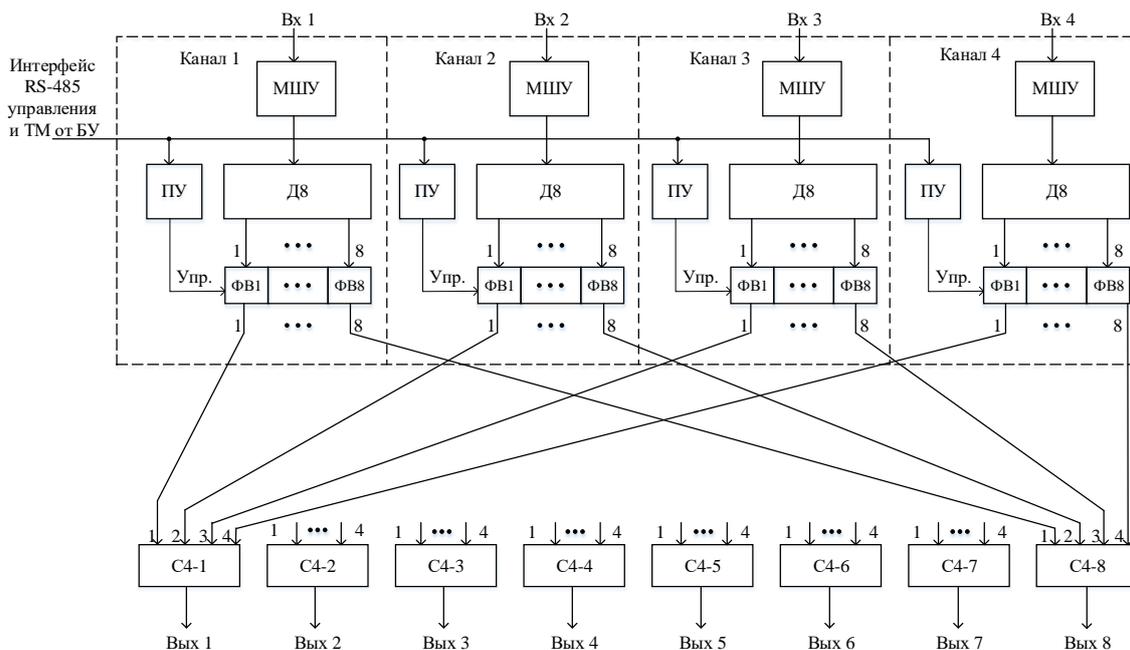


Рисунок 1. Структурно-функциональная схема 4-х канального приемного модуля АФАР

Добротность системы на прием G/T будет определяться общим усилением антенны G и шумовой температурой приемного канала T с учетом потерь на входе МШУ. Следует учитывать, что в некоторых случаях на входе приемного тракта необходима установка фильтра, потери которого неизбежно повысят интегральную шумовую температуру приемного тракта.

В многолучевых АФАР наиболее массовым элементом является фазовращатель, их количество определяется числом приемных каналов N и числом лучей M. Кроме того скорость переключения фазовых состояний определяет скорость переключения луча, а потребление по цепям управления фазовращателя играет важную роль. Наибольшее распространение получили фазовращатели на основе арсенид-галлиевого полевого транзистора с затвором Шотки (ПТШ) в пассивном включении. Скорость переключения такого элемента составляет единицы наносекунд, а токи управления определяются токами утечки затвора ПТШ, которые составляют единицы микроампер [3]. Использование арсенида галлия обеспечивает высокую радиационную стойкость и позволяет реализовать функциональные узлы в виде монолитных интегральных схем. Для управления такими фазовращателями требуется отрицательное напряжения для преобразования логических уровней.

Количество каналов передающего модуля АФАР определяется тепловыделением модуля и массогабаритными требованиями к АФАР. Одноканальный модуль не позволяет разместить модули в ограниченных габаритах подрешетки. Многоканальный модуль не позволяет равномерно отводить тепло со всех каналов. Компромиссным вариантом является реализация двухканального передающего модуля, функциональная схема которого приведена на рисунке 2.

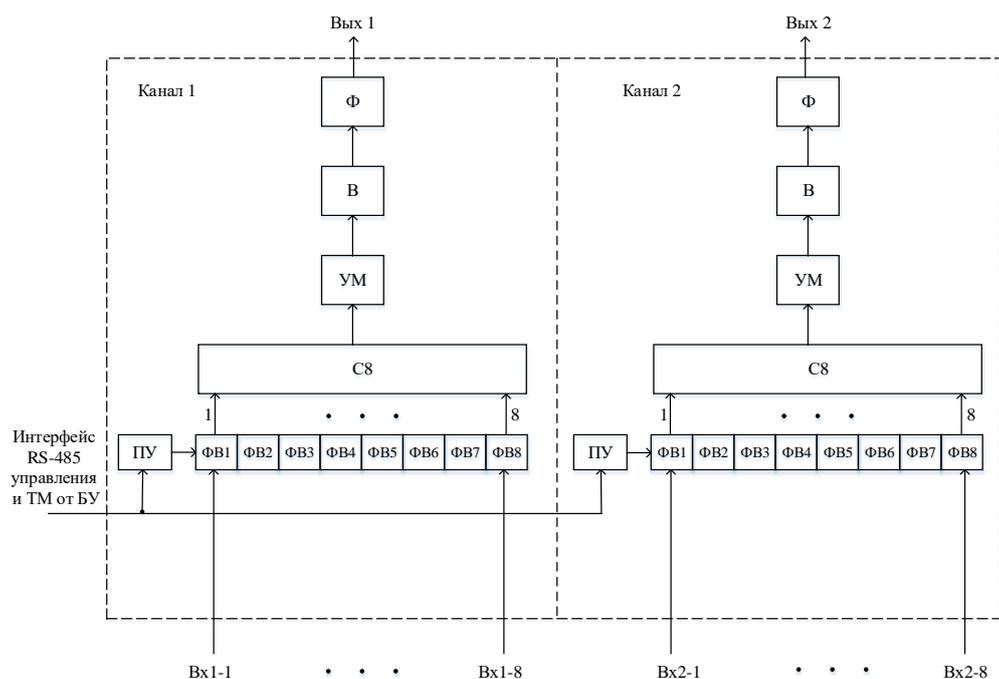


Рисунок 2. Структурно-функциональная схема двухканального передающего модуля АФАР

2. Выбор элементов модуля АФАР и экспериментальные результаты

В Табл.1 приведены характеристики приемных модулей АФАР, а в Табл.2 приведены характеристики передающих модулей АФАР, которые изготавливались или проектировались на предприятии ООО «Ижевский радиозавод».

Таблица 1. Характеристики приемных модулей

Диапазон	Число каналов	Число лучей	Коэффициент шума, дБ	Наличие входного фильтра	Число каскадов МШУ	Элементная база МШУ
Ka	1	4	2,5	-	3	ПТШ
C	4	8	2,5	+	3	ПТШ
S	4	8	1,5	-	1	ИС
L	4	1	2,0	+	2	ИС

Антенна первого типа предназначена для геостационарного ретранслятора Ka диапазона. Каждый одноканальный приемный модуль содержит МШУ и четыре трехрядных фазовращателя, реализованные в виде гибридной ИС на поликоре на основе переключательного ПТШ с балочными выводами.

Антенна второго типа для геостационарного ретранслятора C-диапазона построена на основе четырехканальных приемных модулей [4]. Конструкция модуля приведена на рис.3, в каждом канале установлено по восемь трехрядных фазовращателей в гибридном исполнении на основе транзистора 3П388 с разрядами 180°, 90° и 45° и малозумящий усилитель (МШУ), построенный по балансной схеме на транзисторах FHC40LG.

Приемный модуль АФАР S-диапазона для низколетящего космического аппарата реализован на основе МШУ типа СНА3801 фирмы UMS и гибридном четырехрядном фазовращателе на p-i-n диодах.

Для L-диапазона в качестве МШУ использована микросхема ADL5521 фирмы Analog Devices.

Во всех случаях использовались кольцевые бинарные делители, что обеспечивает

развязку между каналами порядка 20 дБ. В первых двух случаях делители и сумматоры реализованы на поликоре, а для S-диапазона использован стеклотекстолит. Степень взаимного влияния каналов оценивалась по изменению коэффициента передачи и фазового сдвига при управлении соседним каналом приемного модуля.



Рисунок 3. Приемный модуль С-диапазона

Таблица 2. Характеристики передающих модулей

Диапазон	Число каналов	Число лучей	Выходная мощность, Вт	Наличие выходного фильтра	Число каскадов УМ	Элементная база УМ
Ка	1	4	0,1	-	3	ПТШ
С	2	1	1,0	+	3	ИС+ПТШ
S	2	8	8,0	+	2	ИС+ПТШ
L	2	1	2,0	+	2	ИС+ПТШ

На рис.4 представлена конструкция двухканального передающего модуля С-диапазона на основе арсенид-галлиевых ИС и ПТШ собственной разработки.

Для S-диапазона выбрана микросхема типа СНА4105 в качестве предварительного усилителя и GaN транзистор типа СНК025А в металлокерамическом корпусе для выходного каскада.

Для L-диапазона в качестве выходного каскада выбран арсенид-галлиевый транзистор FLL57МК в металлокерамическом корпусе с механическим креплением, что обеспечивает надежный теплоотвод.

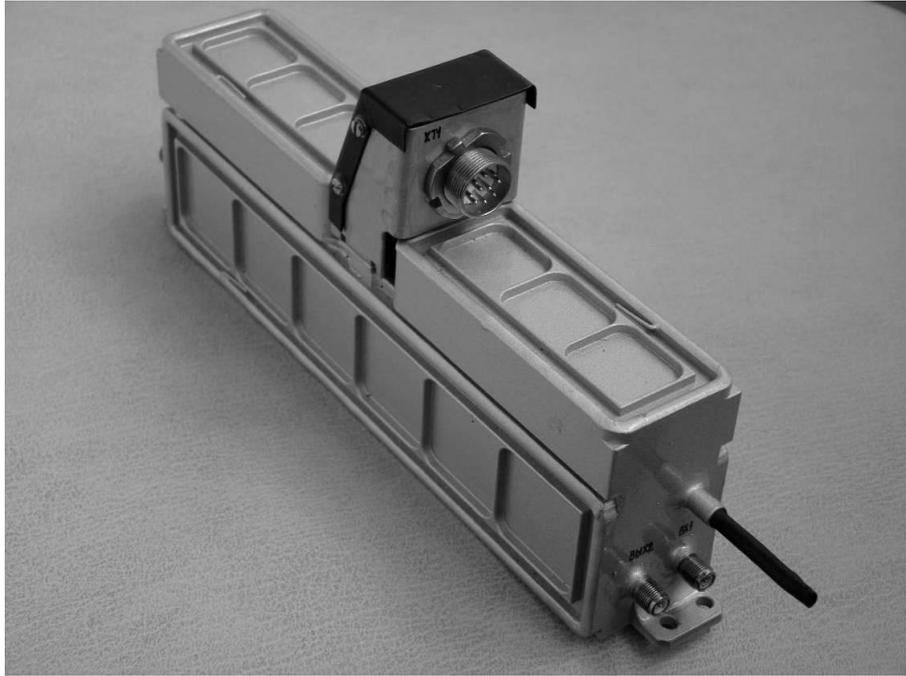


Рисунок 4. Передающий модуль С-диапазона

3. Заключение

Рассмотрены варианты построения приемных и передающих многоканальных модулей систем спутниковой связи на основе АФАР. Представлены критерии выбора числа каналов модуля с учетом диапазона рабочих частот и назначения антенны. Обосновано использование полосно-пропускающих фильтров для обеспечения электромагнитной совместимости связанных систем. Приведены экспериментальные результаты измерения модулей и даны рекомендации по выбору элементной базы при проектировании модулей.

Список литературы

1. Анпилогов В.Р., Шишлов А.В., Эйбус А.Г. Многолучевые антенные системы HTS // Технологии и средства связи. 2013, № 6-2 (99), с. 54 – 67.
2. R.C. Hansen Phased array Antenas Second edition A. John Willey & Sons, Inc., Publication, 2009 p.550.
3. Aysli Y. Microwave switching with GaAs MESFET. Microwave J., vol.25, №11, 1982, p. 61-74.
4. V. Timoshenkov, A. Efimov, V. Losev Multi-Channel Receiving Module of Multi Beam C-Band Active Phased Array Antenna // Proceedings of the 2017 IEEE Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference (2017 EIConRus) p.4 – 7.