

ПРИЕМО-ПЕРЕДАЮЩИЕ МОДУЛИ АФАР Ku-ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ

В статье представлены результаты разработки гибридно-интегральных модулей, предназначенных для активных ФАР Ku-диапазона частот. Модули выполнены на базе монолитных интегральных схем и многослойных керамических плат низкотемпературного отжига (LTCC). В модулях использована исключительно отечественная комплектация. Представлены структурные схемы, конструктивные и технологические особенности, основные параметры. Рассмотрены возможные направления совершенствования модулей АФАР.

Одним из динамично развивающихся направлений отечественной СВЧ-электроники в последние годы стало направление систем с активными фазированными антенными решетками (АФАР), отличающихся от систем с ФАР прежде всего быстродействием, возможностями работы одновременно по многим целям и перестройки режимов. Это стало возможным после освоения промышленного выпуска широкополосных монолитных интегральных схем (МИС) широкого применения: маломощных и мощных усилителей, переключателей каналов, переключаемых фазовращателей и аттенуаторов, защитных устройств. В результате модули, предназначенные для

активных ФАР X-диапазона частот, уже несколько лет выпускаются серийно [1]. Вслед за этим появилась потребность в модулях для АФАР Ku-диапазона частот.

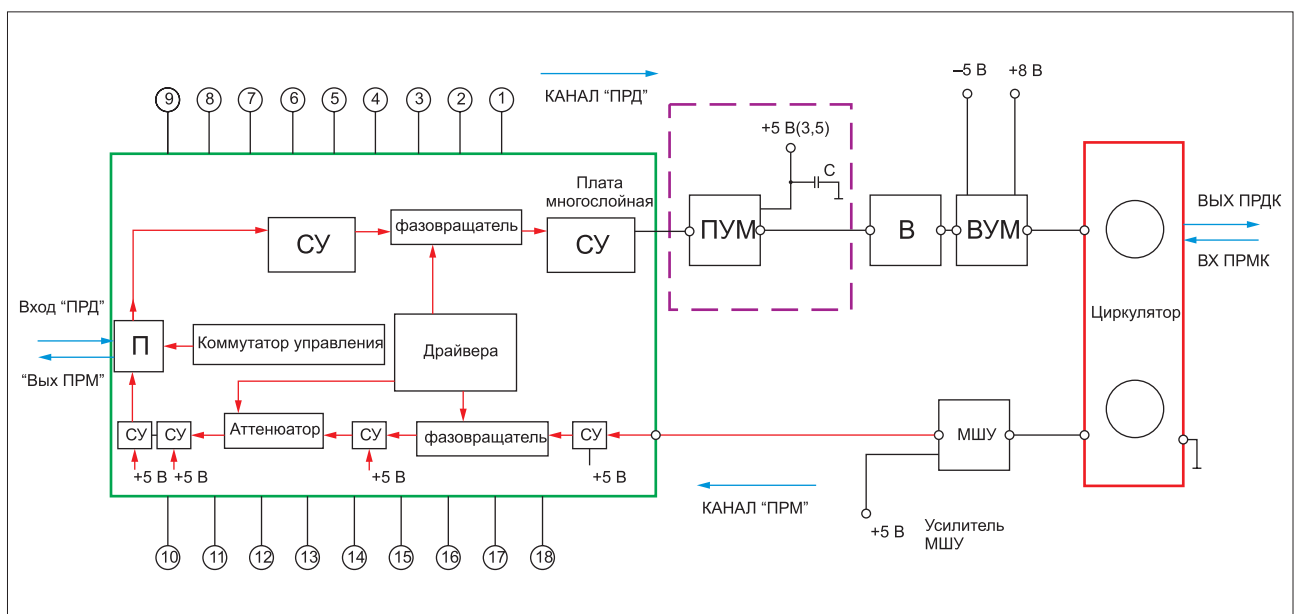
ОПИСАНИЕ МОДУЛЕЙ

Структурная схема разработанных в АО «НПП «Исток» им. Шокина» приемно-передающих модулей двух поддиапазонов диапазона частот Ku представлена на рис. 1.

Модули содержат по одному приемному (ПРМ) и передающему каналу (ПРД). В них используются однофункциональные монолитные интегральные схемы.

Переключатель 1×2 осуществляет включение передающего или прием-

ного каналов. Далее в составе канала ПРД согласующие усилители и усилители мощности, 6-разрядный фазовращатель и ферритовый циркулятор для развязки выхода канала ПРД и входа канала ПРМ. Используется циркулятор X-структуры, а не Y, что позволяет отраженную от хода защитного устройства приемника мощность поглощать в согласованной нагрузке. В состав канала ПРМ входят: пассивное защитное устройство, маломощный и согласующие усилители, 5-разрядный аттенуатор, 6-разрядный фазовращатель. Для цифрового управления фазовращателями, аттенуатором и переключателем в составе модуля имеются драйверы.



▲ Рис. 1. Структурная схема разработанного приемно-передающего модуля

Конструктивно модули представляют собой ряд герметичных активных СВЧ-узлов, ферритовых вентилей и циркулятора, а также вспомогательных поликорковых плат, смонтированных на едином основании (рис. 2). В большой многослойной керамической плате, реализующей концепцию объемных электронных СВЧ-схем и выполненной по технологии LTCC [2], в верхнем слое смонтированы МИС, выполняющие диаграммообразующую роль, а в нижнем слое — МИС драйверов. В небольшой унифицированной многослойной керамической плате размещены МИС малошумящего усилителя и защитного устройства. Предварительные и выходные каскады передающего канала выполнены в металлокерамических корпусах (рис. 3), обеспечивающих необходимый теплоотвод. СВЧ-сигналы подаются через микрополосковые входы/выходы. Напряжения управления и слаботочного питания подаются на контактные площадки керамической крышки большой многослойной платы. Напряжение питания на выходной усилитель мощности подается через близко расположенный штырь.

Все использованные СВЧ МИС разработаны и изготовлены в АО «НПП «Исток» им. Шокина». Предварительные и выходные каскады передающего канала выполнены на бескорпусных GaAs-транзисторах также производства АО «НПП «Исток» им. Шокина».

Ширина модуля, предназначенного для АФАР, определяется рабочей длиной волны. Для разработанных модулей ширина была выбрана равной порядка 11 мм для литеры 1 и порядка 10 мм для литеры 2. В связи с ограничением по ширине разработанные модули отличаются существенно более плотным расположением компонентов, чем в модулях X-диапазона частот. Именно это первую очередь усложняло задачу обеспечения стабильности параметров модулей.

В технологии изготовления модулей используются типовые технологические процессы. Технология изготовления разработанных модулей во многом повторяет технологию изготовления модулей АФАР X-диапазона частот. Вместе с тем, в связи с увеличением общей длины модулей, были определены технологические операции, к качеству выполнения которых применялись повышенные требования. Это требования к плоскостности общих оснований, качеству их золочения, пайки плат и соблюдению габаритных размеров спаиваемых оснований, качеству пайки металлокерамических корпусов усилителей мощности на общие основания



▲ Рис. 2. Внешний вид модулей



▲ Рис. 3. Металлокерамический корпус транзисторного усилителя мощности

Таблица. Основные параметры ППМ АФАР Ku-диапазона частот

Параметры	Литера 1		Литера 2	
	Приемный канал	Передающий канал	Приемный канал	Передающий канал
Кoeffициент шума, дБ	3,5	–	3,5	–
Кoeffициент усиления, дБ	25	30	25	30
Выходная импульсная мощность, Вт	–	5	–	0,3
Количество разрядов аттенюатора ПРМ	5	–	5	–
Количество разрядов фазовращателей ПРД/ПРМ	6	6	6	6
Длина, мм	113,3		84	

и соблюдения при этом габаритных размеров, качеству приклеивания многослойных керамических плат. Было увеличено количество циклов технологических испытаний на воздействие смены температур.

Последовательность технологических операций изготовления модулей: пайка плат линий СВЧ и питания на общее основание, пайка ПУМ и ВУМ на общее основание, приклеивание корпусированных узлов, причем большая многослойная плата клеится в открытом состоянии, разварка переемычек, настройка параметров модуля, технологические испытания, герметизация большой многослойной платы.

В таблице представлены основные параметры прямо-передающих модулей АФАР двух частотных литер Ku-диапазона частот. На момент окончания разработки отечественные аналоги разработанных модулей неизвестны.

ВОЗМОЖНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МОДУЛЕЙ АФАР

Дальнейшее совершенствование аналоговых модулей может идти в направлении использования мощных GaN-транзисторов и МИС для усилителей мощности (поэтапно, по мере появле-

ния), многофункциональных МИС в диаграммообразующих цепях, прижимных контактов для СВЧ- и низкочастотных цепей, развития конструкции и технологии многослойных плат, минимизации габаритов [3, 4]. ▬

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. И. Белый, А. И. Синани, О. С. Алексеев, В. М. Кузьменков, В. Ф. Винярский, С. С. Бушкин, А. Н. Королев, В. М. Малыщук, А. Г. Далингер. Многоканальные приемопередающие модули для АФАР X-диапазона. Антенны. 2008. Выпуск 9 (136). С. 55–60.
2. Карасев М. С., В. А. Жерновенков. Конструктивные особенности ППМ «Аббат-И» с применением поверхностного контактного соединителя для передачи СВЧ энергии и НЧ-сигналов управления и электропитания. Электронная техника. Серия 1. СВЧ-техника. 2016. Выпуск 3 (530). С. 71–80.
3. Ляпин Л. В., Осипов А. В., Далингер А. Г. Низкотемпературная керамика в технологии изготовления многослойных керамических плат LTCC. Электронная техника. Серия 1. СВЧ-техника. 2017. Выпуск 4 (535). С. 28–43.
4. Карасев М. С., Далингер А. Г., Шацкий С. В., Жерновенков В. А. Перспективный многофункциональный приемопередающий модуль АФАР X-диапазона. Электронная техника. Серия 1. СВЧ-техника. 2017. Выпуск 1 (532). С. 45–48.