

Многоканальный приемник миллиметрового диапазона с разделением каналов по радио частоте

В статье описан широкополосный многоканальный приемник ММ диапазона с разделением каналов по радио частоте. Приведены способ построения и особенности конструкции многоканального приемника, требования к узлам. Описаны используемые технологии изготовления отдельных узлов и достигнутые характеристики.

Ключевые слова: многоканальный приемник, разделение частотных каналов, ППФ, мост Ланге.

ВВЕДЕНИЕ

Многоканальные приемники (МП) широко используются в Радиоастрономии для изучения спектра быстропеременного сигнала. На радиотелескопе РАТАН-600 в многоканальном Солнечном комплексе перекрывается многооктавный диапазон 1-18 ГГц, в котором реализовано 112 каналов с частотным разрешением менее 100 МГц в двух круговых поляризациях, что составляет 0.5% на верхней частоте [1]. В миллиметровом (ММ) диапазоне ($f > 30$ ГГц) для Солнечных задач не требуется столь высокое частотное разрешение поскольку контраст вариаций радиояркостной температуры Солнца в активных образованиях падает - в этом диапазоне на Солнце в основном работают тепловые механизмы радиоизлучения и отсутствуют резонансные (гирорезонансные). Однако технологическая сложность реализации МП в ММ диапазоне даже с заметно меньшим частотным разрешением существенно возрастает. Для Солнечных задач целесообразным является построение МП с полосой канала 450-900 МГц, что составляет 1.25-2.5% в начале ММ диапазона.

Важнейшим звеном МП является полосно-пропускающий фильтр (ППФ), от избирательности которого зависит достижимое число каналов и развязка между ними. Обычно ППФ для МП реализуются на промежуточной частоте (ПЧ), что значительно упрощает их изготовление и достижение необходимой добротности и развязки между каналами. Однако переход на ПЧ требует высокостабильного гетеродина и подавления зеркального канала. В ММ диапазоне задачи построения высокостабильного гетеродина с низким уровнем амплитудно-фазовых шумов и подавления зеркального канала значительно усложняются. Частотное разделение каналов на радио частоте лишено подобных недостатков однако в наиболее компактном микрополосковом исполнении сопряжено с рядом технологических сложностей.

В [2] приведены характеристики одноканальных приемных модулей прямого усиления на 22 ГГц и 36 ГГц с полосой канала 720 МГц и 1600 ГГц. В настоящей работе приводятся результаты разработки МП 8 ММ диапазона с разделением каналов по радиочастоте.

СХЕМА И ХАРАКТЕРИСТИКИ МП

Блок-схема 4-х канального МП показана на рис 1. В качестве делителей мощности

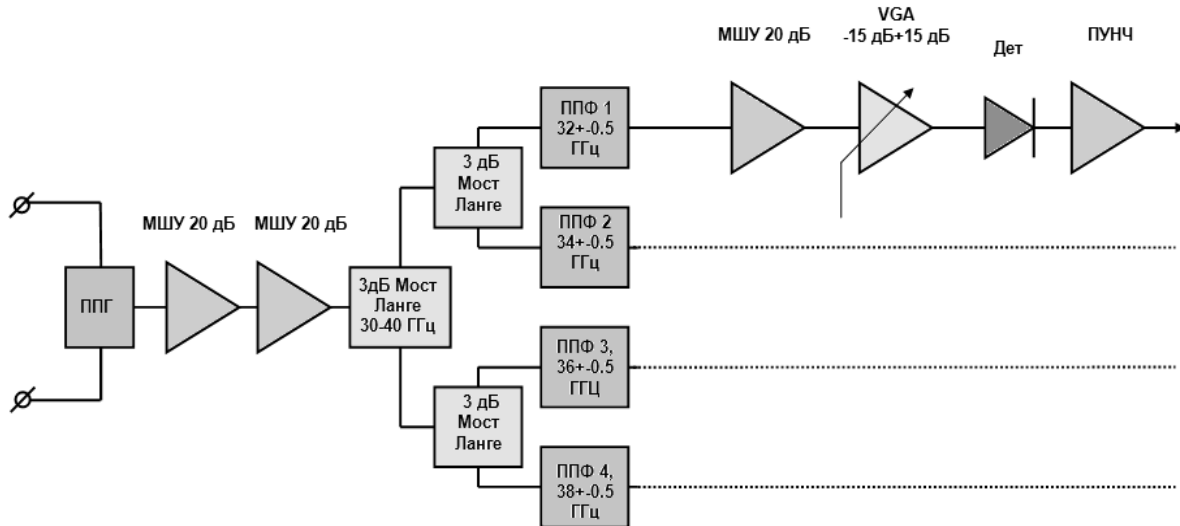


Рис.1.

на два равных канала используются мосты Ланге, для получения 8 каналов добавляются еще 4 моста Ланге. На входе МП расположен широкополосный волноводный ферритовый переключатель с прямоугольной петлей гистерезиса (ППГ) для последовательного переключения двух линейных ортогональных поляризаций.

Основные параметры и характеристики разрабатываемого 8-ми канального двухполяризационного МП:

Схема приемника: прямого усиления

Число ортогональных поляризаций: две линейные

Режим работы: полной мощности/модуляционный

Частотный диапазон 30-40 ГГц

Число каналов : 8 (на частоты 30 ГГц, 32 ГГц, 34 ГГц, 36 ГГц, 38 ГГц, 40 ГГц, 30-40 ГГц –широкий канал, один канал резервный)

Полоса узкого канала:

по уровню -3 дБ +-0.5 ГГц

по уровню -20 дБ - +-0.8 ГГц

Шумовая температура канала: не более 300 К.

Неравномерность АЧХ в канале: не более 3 дБ

Развязка соседних каналов – не менее 20 дБ

Чувствительность на канал в режиме полной мощности – 25 мК/Гц^{-1}

Температурный коэффициент передачи каналов $1.3 \pm 0.1 \text{ мВ/К}$.

Динамический диапазон аналоговой части (ограничен насыщением детектора): 30-35 дБ

Уровень выходного сигнала 0-10 В (80 К – 0.1 В, 320 К – 0.4 В)

Динамический диапазон цифровой части: 16 разрядов

УЗЛЫ МП

Изготовление микрополосковых ППФ ММ диапазона с полосой менее 5% представляет сложную технологическую задачу и требует микронной точности изготовления топологических зазоров, которая не решается традиционными методами травления фольгированного диэлектрика с малыми потерями и для ее решения

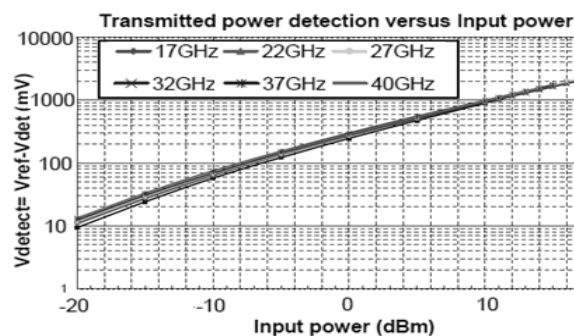
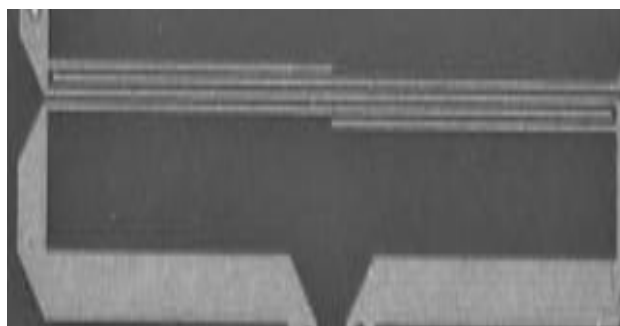
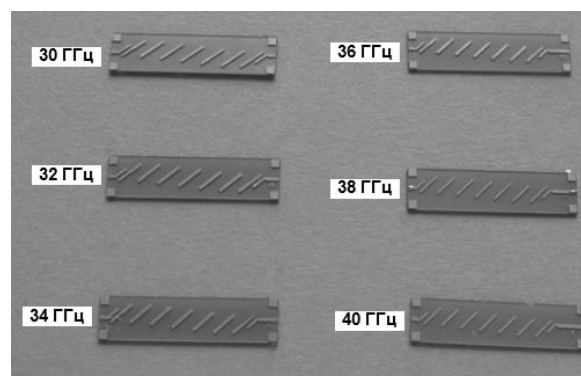
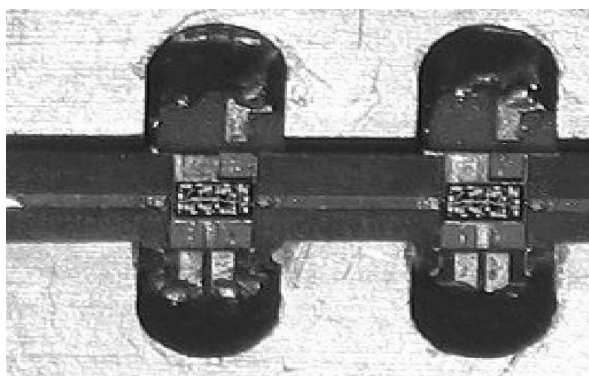
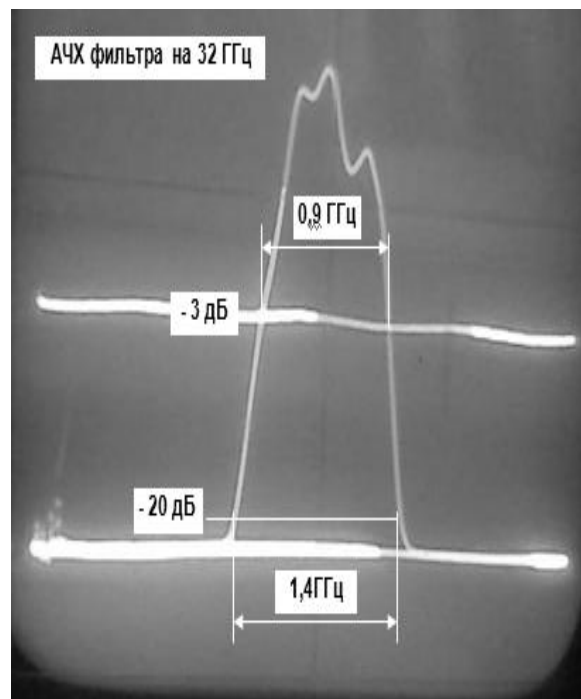
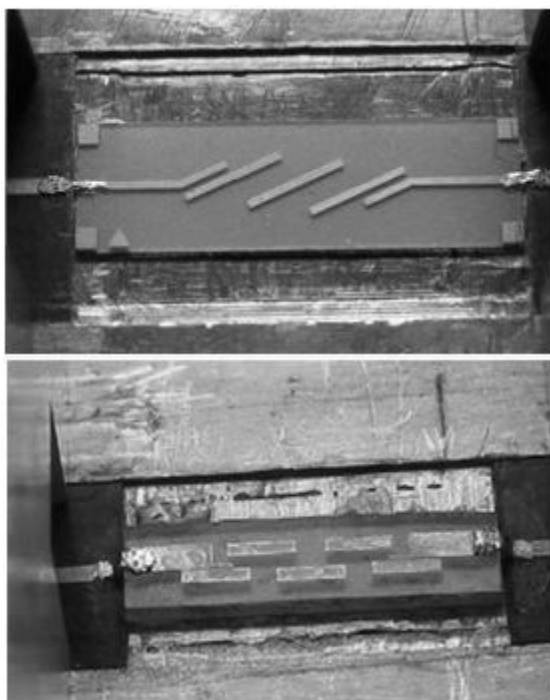


Рис.2.

Применяются методы высокоточного напыления на подложки малых толщин (100-150 мкм) и размеров (несколько мм) с высоким эpsilon. В нашем случае требуется изготовить ППФ с полосами до 2.5% от основной частоты. С целью помещения ППФ в запредельный волноводный объем и повышения устойчивости работы МШУ ППФ выполняются на подложках из диэлектрика с эpsilon около 10 (поликор, кварц, сапфир).

Высокую технологическую сложность представляют широкополосные делители мощности ММ диапазона типа Ланге, где также необходимо реализовать методом напыления микронные зазоры в связанных линиях и обеспечить полосы до 40% с высокой точностью деления мощности и хорошим согласованием в полосе.

Диодные детекторы каналов МП должны обеспечивать высокий отклик на частоте ММ диапазона в полосе до 40% и обладать высоким динамическим диапазоном (более 30 дБ).

На рис.2. приведены примеры реализации и характеристики отдельных узлов МП. Образцы ППФ 8 мм диапазона на подложке из поликора и сапфира [3] приведены вверху слева, АЧХ ППФ одного из каналов на подложке из поликора - вверху справа, пример реализации моста Ланге на подложке из поликора - внизу слева, пример монтажа интегральных монолитных МШУ чипов в запредельном канале - середина слева, образцы 7-ми звенных ППФ узкополосных каналов МП - середина справа, вольт-ваттная характеристика дифференциального детекторного диода фирмы UMS - внизу справа.

В Таблице 1 приведены вносимые потери и КСВН в различных узлах МП.

Таблица 1

	ППГ	Входной финлайновый переход	Мосты Ланге	ППФ
Потери, дБ	0.5	0.3	0.4	3-4
КСВН	1.3	1.35	1.2	1.5

Входные малошумящие усилители (МШУ) МП должны иметь широкую полосу, коэффициент шума не более 3 дБ и обеспечивать возможность реализации высокой флуктуационной чувствительности для наблюдений дискретных опорных источников с потоками не более 150-200 мЯн, характерными для 8 ММ диапазона. В качестве МШУ используются бескорпусные интегральные монолитные усилительные чипы с постоянным и переменным коэффициентом усиления, при наличии запаса по усилению для выравнивания каналов применяются активные/пассивные плавно регулируемые или дискретные аттенуаторы.

КОНСТРУКЦИЯ МП

На входе МП установлен широкополосный финлайновый волноводно-полосковый переход с малыми потерями. Реализуемая микрополосковая конструкция МП в диапазоне 30-40 ГГц приведена на рис. 3.

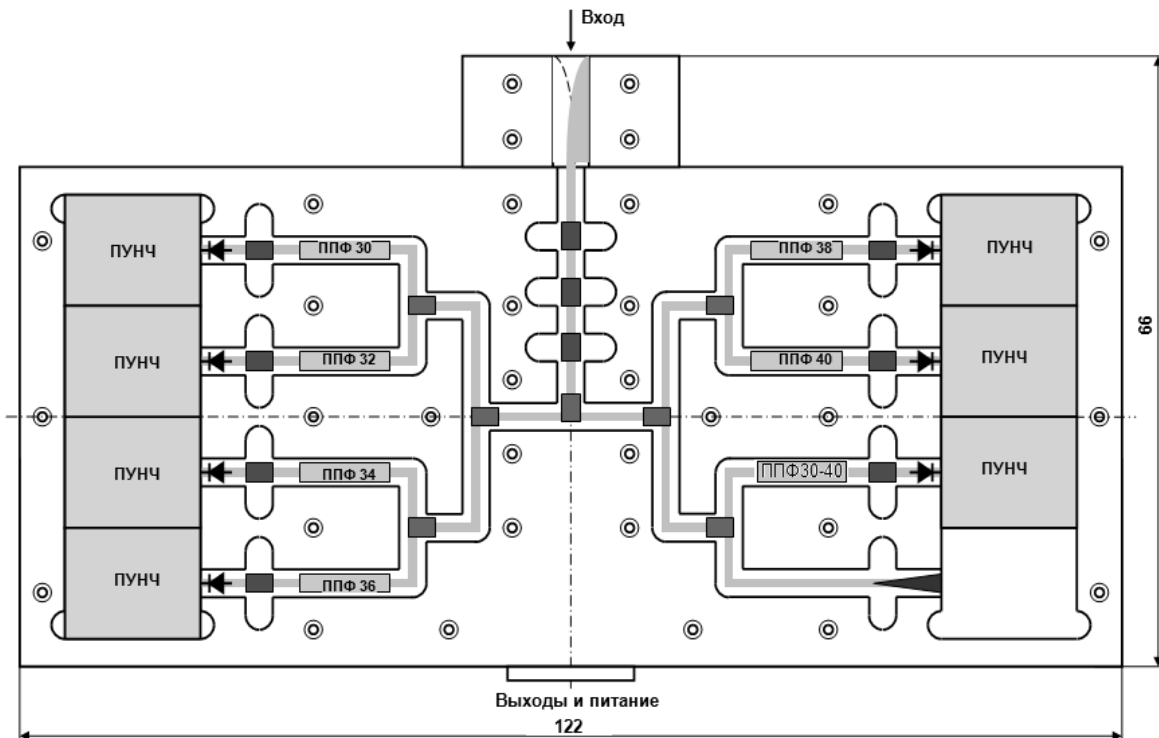


Рис.3.

Все активные и пассивные компоненты схемы МП установлены в запердельном волноводном канале для подавления волноводных мод распространении волны. Особое внимание в реализации МП с разделением каналов по радио частоте уделяется качеству изготовления механических узлов и соединений а также импедансному согласованию элементов схемы что необходимо для исключения обратного распространения волны, устойчивости усиления на радиочастоте и достижения требуемой развязки каналов.

Библиографический список

1. Богод В.М., Алесин А.М., Перваков А.А. Радиотелескоп РАТАН-600 в 24 цикле солнечной активности. Многооктавный спектрально-поляризационный комплекс высокого разрешения для солнечных исследований. *Астрофизический бюллетень*, том 66, № 2, 2011, с. 223–233.
2. Хайкин В.Б., Радзиховский В.Н., Кузьмин С.Е. Высокочастотные радиометры на 22 ГГц и 36 ГГц для непрерывного мониторинга поглощения атмосферы на радиотелескопе РАТАН-600. В сборнике ВРК-2011, СПб, сентябрь 2011, с.24-25.
3. K.Zemlyakov, P.Paralchuk, I.Vendik, V.Khaikin, V.Radzikhovsky. High Q Bandpass Filters on Sapphire Substrate for Atmosphere Remote Sensing. In *Proceed. of MRRS'2011*, Khar'kov, Aug.2011.