

**В.Ю. Мякинков, В.Ф. Губарев, Ю.Б. Рудый, Д.А. Ковтунов,
А.С. Калинин, С.И. Футьянов, А.Н. Рабодзей**
ОАО «НПП „Исток“» им. Шокина

Приемопередающий модуль доплеровского измерителя скорости, угла сноса и высоты для современных самолетов

Приведены результаты разработки твердотельного приемо-передающего СВЧ модуля, работающего в импульсном режиме и предназначенного для формирования и передачи на входы антенно-фидерного устройства СВЧ сигнала с синусоидально модулированной частотой излучения повышенного уровня мощности (4 передающих канала с выходной мощностью до 0,75 Вт каждый), а также приема от антенно-фидерного устройства СВЧ сигнала, преобразования спектра принятого сигнала на промежуточную частоту, усиления его и передачи в модуль цифровой обработки. В модуле применена современная элементная база на основе гибридно-монолитных элементов разработанных во ФГУП «НПП «Исток».

Ключевые слова: доплеровский измеритель скорости, угла сноса и высоты, приемопередающий модуль, СВЧ, высокая надежность

Доплеровский измеритель скорости, угла сноса и высоты (ДИСС) летательного аппарата (в который входит приемопередающий СВЧ модуль) должен обеспечивать:

- радиолокационный захват отраженных от подстилающей поверхности сигналов по каждому лучу антенны,
- измерение средней доплеровской частоты и фазового запаздывания отраженных сигналов по каждому лучу антенны,
- непрерывный пересчет доплеровской частоты и фазового запаздывания в проекции скорости и наклонные дальности по ортам (осям) лучей антенны
- вычисление углов отклонения нормали к поверхности от продольной оси,
- автоматический контроль работоспособности аппаратуры,
- выдачу измеренных и вычисленных параметров движения, матрицы признаков обнаружения сигнала по лучам антенны и слова состояния с информацией о результатах самоконтроля.

Большинство измеряемых и вычисляемых параметров определяются приемопередающим модулем СВЧ (ППМ) [1 -4].

На рис.1 показан разработанный приемопередающий модуль доплеровского измерителя составляющих скорости, угла сноса и высоты современных самолетов. Конструктивно приемопередающий СВЧ модуль состоит из трех основных СВЧ модулей, расположенных на едином металлическом основании.

Передающий модуль содержит твердотельный СВЧ генератор с частотной модуляцией, выходной СВЧ-делитель мощности на четыре выхода с усилителями, канал формирования гетеродинного сигнала, канал формирования контрольного сигнала.

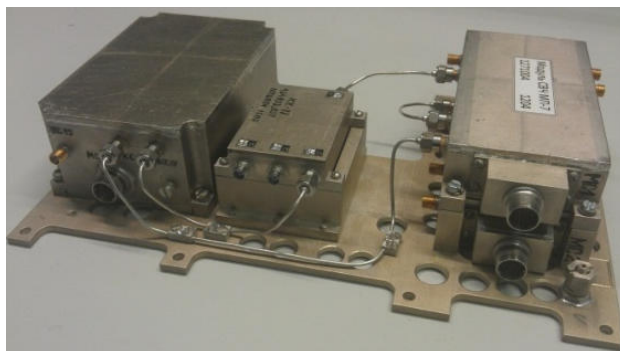


Рисунок 1

Приёмный модуль, расположенный в двух герметичных корпусах, содержит входной СВЧ переключатель на пять входов с ограничителями мощности и два выхода, малошумящий усилитель, дискретный СВЧ аттенюатор, СВЧ смеситель, видеоусилитель с дискретной регулировкой усиления, управляемый кодом регулировки усиления (код РУ).

Контрольный модуль содержит входной и выходной СВЧ ключи, однополосный балансный модулятор, два коаксиальных входа для подачи сигналов смещения на балансный модулятор сдвинутых по фазе на 90 градусов ((I/Q).

Сигналы модуляции частоты излучения и смещения частоты контрольного сигнала, коммутации СВЧ - переключателей и ключей подаются на ППМ из модуля цифровой обработки.

Габаритные размеры приемопередающий СВЧ модуля $250 \times 175 \times 52$ мм³. Вес модуля не более 1500 г.

Конструкции и электрические параметры твердотельного передающего модуля СВЧ

Передающий модуль, внешний вид которого приведен на рис.2, должен поочередно выдавать мощность с одного из четырех выходных каналов на передающие антенны ДИСС. При этом в трех выключенных каналах мощность должна быть на 40 дБ ниже мощности работающего канала (контрольный канал включается при необходимости проверки работоспособности ППМ). Для обеспечения данных требований в каждый из четырех каналов включен усилительный каскад.

Конструктивно передающий СВЧ модуль состоит из:

- генератора на полевом транзисторе с стабилизацией частоты с помощью диэлектрического резонатора (ДР) и электрической перестройкой частоты;
- СВЧ переключателей;
- усилителей и плат контроля выходной мощности по каждому каналу;
- плат СВЧ ответвителей для формирования гетеродинного сигнала и формирования контрольного сигнала;
- микрополосковых вентилей в качестве развязывающих устройств. Передающий модуль СВЧ имеет четыре выходных канала с выходными коаксиальными разъемами с размерами $3,5 \times 1,5$ мм. В каждом выходном канале передатчика расположен усилитель (УМ) с выходной мощностью порядка 0,5 – 0,8 Вт, который отключается по питанию, когда канал выключен [5]. Это обеспечивает малую потребляемую мощность по питанию и

необходимый уровень затухания СВЧ сигнала в канале (более 40 дБ). Время отключения-включения усилителя с цепями управления составляет менее 10 мкс.

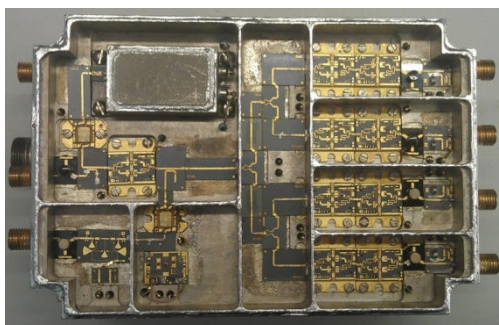


Рисунок 2

После усилительного каскада в каждом канале установлен датчик (контроль работоспособности канала) выходной мощности, постоянное напряжение с которого поступает на схему обработки и дальше в блок контроля аппаратуры.

Гетеродинный канал и канал формирования контрольного сигнала создан за счет ответвления части СВЧ мощности основного сигнала через микрополосковый ответвитель.

Контрольный канал

В схему контрольного канала входят: входные р-і-п ключи, однополосный I/Q модулятор, выходной аттенуатор.

Контрольный канал предназначен для смещения с помощью однополосного балансного модулятора несущей частоты контрольного сигнала на величину (0,5 – 35,0) кГц.

При этом подавление паразитных составляющих в спектре выходного сигнала однополосного балансного модулятора относительно полезной составляющей должно составлять не менее 20 дБ.

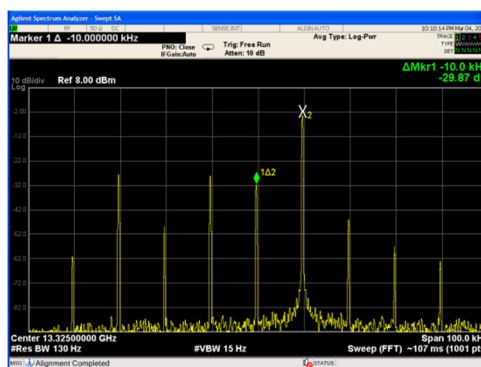


Рисунок 3

Приемный модуль

Приемный модуль, внешний вид которого приведен на рис.4, построен по схеме прямого преобразования и содержит:

- защитное устройство (ЗУ)
- входной быстродействующий р-і-п переключатель «5 входов – 1 выход»;
- малозумящий усилитель (МШУ);
- полосно-пропускающий фильтра (ППФ);
- дискретный СВЧ аттенуатора на 20 дБ;

- СВЧ смеситель;

- видеоусилитель с дифференциальным (парафазным) выходом и дискретной регулировкой усиления, управляемый кодом регулировки усиления (код РУ).

Пятиканальный входной переключатель обеспечивает развязку между каналами не менее 40 дБ, потери не более 3 дБ. В связи с большими размерами и большим количеством земляных отверстий переключатель разработан на материале «Роджерсе», так как на поликоре велика вероятность его растрескивания.

В балансных усилителях на входе и выходе используются широкополосные мосты Ланге (8-18 ГГц) и транзисторы на основе структуры типа РНЕМТ. Коэффициент шума данных транзисторов не более 1,2 дБ на частоте 18 ГГц.

К СВЧ усилителям предъявляются следующие требования:

- коэффициент усиления при нормальной температуре не менее 9,5 дБ,
- коэффициент шума при нормальной температуре не более 2, дБ,
- выходная мощность (при $P_{вх} = 0,9-1,8$ мВт) в пределах 4,5-9,0 мВт.

Общее усиление приемного тракта должно быть не менее 91 дБ. Для подавления шумов гетеродина усиление в СВЧ тракте должно быть не менее 30 дБ.

Коэффициент шума модуля не более 10 дБ. Неидентичность коэффициентов передачи каналов не более ± 1 дБ.

Частота ПЧ от 70 до 1000 МГц. Для увеличения динамического диапазона используется СВЧ аттенюатор на 20 дБ и 6-разрядный аттенюатор ПЧ от 0,5 до 35 дБ.

Выход модуля – дифференциальный. Напряжение на выходах приемного модуля в пределах от 1,0 до 1,8 В. Неравномерность ФЧХ видеоусилителя в полосе частот 159 – 350 кГц не более ± 6 град., изменение ФЧХ в рабочем диапазоне температур в том же частотном диапазоне не более 24 град.

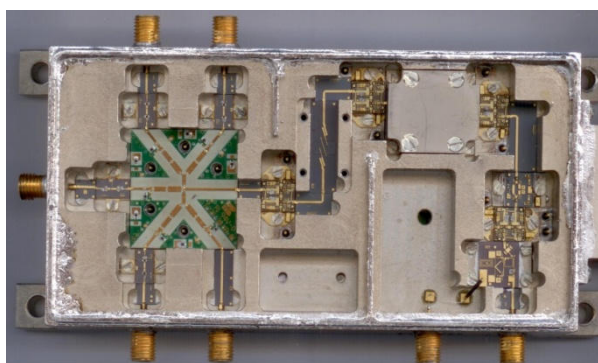


Рисунок 4

Заключение

Разработана базовая конструкция приемопередающего модуля СВЧ, состоящая из четырех герметичных модулей и удовлетворяющая требованиям современной аппаратуры доплеровского измерителя скорости и дальности, обладающая высоким уровнем электрических параметров, повышенной надежностью, способная работать в жестких условиях внешних воздействующих факторов предъявляемых к бортовой аппаратуре (самолетов и вертолетов).

1. По сравнению с ранее разработанными передающими и приемопередающими СВЧ модулями аналогичного применения, разработанный модуль СВЧ ДИСС-МПП имеет повышенную выходную мощность, высокую надежность и малые габариты.

2. Повышения надежности и улучшения электрических параметров модуля достигнуто за счет применения современной элементной базы разработанной и выпускаемой во ФГУП «НПП «Исток».

3. Дальнейшее улучшение электрических параметров ДИСС-МПП и значительное уменьшение габаритов возможно с применением в модуле элементной базы на основе кристаллов микросхем и технологии LTCC разрабатываемых во ФГУП «НПП «Исток».

Изделие может модернизироваться. Возможно уменьшение массогабаритных характеристик, используя импортные комплектующие или разработанные базовые узлы с добавлением различных функциональных возможностей для конкретной аппаратуры в том числе и космической.

Библиографический список

1. В.А. Мальцев, В.Ю. Мякинков, Ю.Б. Рудый, В.Н. Лебедев «Передающий модуль СВЧ для доплеровского измерителя скорости и дальности программы «Фобос – Грунт»». Электронная техника, Сер. СВЧ – техника, 2009г., вып.3 (502), с.27 - 35

2. Алексеенко А.М., Мякинков В.Ю., Новоселец И.В., Рогов В.И. «Генераторный модуль для когерентного радиовысотомера малых высот, работающего в режиме частотной модуляции». Электронная техника, сер. 1, Электроника СВЧ, 1983, вып. 4(352), с. 7-11.

3. В.Ю. Мякинков, Ю.Б. Рудый, В. Ф., Губарев, В.Н. Лебедев, В.А. Мальцев «Передающий модуль СВЧ аппаратуры ДИСС-ФГ программы «Фобос – Грунт»», 20-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» том 1, Севастополь, Крым, Украина 13-17 сентября 2010 г, с.163 – 164

4. Алексеенко А.М., Мякинков В.Ю., Федоров И.С., Русакова А.К. и др. «Способ герметизации и радиоэкранировки многофункциональных СВЧ-устройств.» Электронная техника, сер. 1, Электроника СВЧ, 1986, вып. 10(394), с. 47-48.

5. А.Н. Каргин, Е.М. Шипило «Компьютерное линейное моделирование транзисторного усилителя мощности», «Радиотехника», 2003 г., №2.