

Приемо-передающий тракт с расширенным частотным диапазоном для авиационной РСА с повышенным разрешением.

¹ Гусев А.Н., ² Рыжов Ф.В., ³ Самулеев М.С., ⁴ Ровкин М.Е.

¹ Акционерное общество "Научно-производственная фирма "Микран"
г. Томск, 634041, пр. Кирова, 51д, Российская Федерация
andr@micran.ru

² Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
г. Томск, 634050, пр.Ленина, 40, Российская Федерация
ryzhov@micran.ru

³ Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
г. Томск, 634050, пр.Ленина, 40, Российская Федерация
sms@micran.ru

⁴ Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
г. Томск, 634050, пр.Ленина, 40, Российская Федерация
mikhail.rovkin@tusur.com

Аннотация: Обсуждаются особенности построения приёмо-передающего тракта СВЧ РЛС с синтезированной апертурой для платформ легкомоторной и беспилотной авиации, работающего с зондирующими сигналами расширенного спектра (до 1200 МГц в X-диапазоне) и имеющей повышенный энергетический потенциал. Описаны частотный план системы и конструкция устройства.

Ключевые слова: радиолокационная станция, синтезированная апертура, твердотельный усилитель мощности.

1. Введение

В 2015 году в области РСА случилось долгожданное событие - были расширены выделенные для работы авиационных РЛС бокового обзора участки частотного спектра. В X диапазоне вместо 600 МГц теперь разрешена полоса до 1200 МГц. Это решение открывает двери для двукратного улучшения разрешения радиолокационного изображения.

С этого времени наиболее актуальным для существующих (а тем более вновь создаваемых) радиолокационных станций с синтезированной апертурой (далее РСА) является их модернизация, имеющая целью расширить спектр зондирующего сигнала до возможных 1200 МГц.

При модернизации авиационных РСА одним из важных показателей является снижение их габаритов и массы [1], что при расширении спектра

формируемых при излучении и обрабатываемых при приёме радиолокационных сигналов достижимо только за счёт прогресса цифровой элементной базы, поскольку, вообще говоря, одновременное достижение обеих целей в известном смысле противоречит друг другу.

В работе показаны особенности построения приемо-передающего тракта бортовой РСА, предназначенной для легкомоторной и беспилотной авиации, экспериментальные образцы которой создаются в рамках совместного проекта ТУСУР, АО "НПФ "Микран" (г. Москва) и НИИ ТП (г. Москва). К основным целям проекта относятся как повышение качества РЛ изображения, в том числе за счёт расширения спектра РЛ сигнала, так и снижение массы бортовой аппаратуры СВЧ.

Характеристики приемо-передатчиков следующие:

- Диапазон рабочих частот тракта Х-диапазона 9,3-10,3 ГГц;
- выходная импульсная мощность в Х-диапазоне 250 Вт;
- минимальная скважность передатчика Х-диапазона- 20;
- максимальная длительность радиоимпульса диапазона 60 мкс;
- полоса частот модулирующего сигнала Х-диапазона ± 500 МГц;
- коэффициент шума приемного тракта не более 5 дБ.
- Диапазон рабочих частот тракта L-диапазона 1110-1510 МГц;
- выходная импульсная мощность в L-диапазоне 250 Вт;
- минимальная скважность передатчика L-диапазона- 20;
- максимальная длительность радиоимпульса диапазона 60 мкс;
- полоса частот модулирующего сигнала L-диапазона ± 200 МГц
- Коэффициент шума приемного тракта L-диапазона не более 4 дБ.

Входы приёмников обоих диапазонов защищены устройствами асинхронной защиты.

2. Унифицированный частотный план трактов и их структура

Создаваемая двухчастотная РСА ДЗЗ будет импульсной с внутри-импульсной ЛЧМ. Ширина спектра сигналов в тракте приёма и передачи составляет 1000 МГц (Х-диапазон) и 400 МГц (L- диапазон).

Тракты формирования и обработки РЛ сигналов современных РСА используют цифровые узлы, которые работают на промежуточных частотах. Для достижения максимально возможной спектральной полосы формируемых обрабатываемых сигналов в трактах используется прямое квадратурное преобразование частоты при излучении и приёме. При этом частота гетеродина равна частоте несущей немодулированного сигнала.

Входными и выходными в этом случае являются сигналы "нулевой" ПЧ, формируемые и обрабатываемые цифровым ядром соответствующего диапазона РСА. Тем самым упрощается построение системы и унифицируется её конструкция, поскольку цифровая часть в обоих диапазонах РСА одинаковая. Структура двухчастотной РСА показана на рис.1.

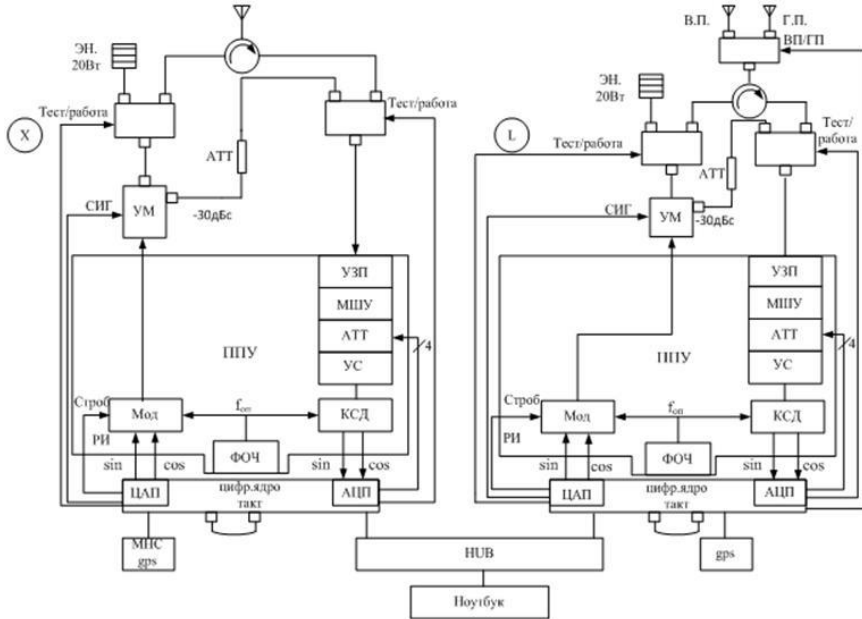


Рис. 1. Обобщённая структура приёмо-передатчика (предложена НИИ ТП, г.Москва). ЭН - эквивалент нагрузки, УМ - усилитель мощности, ППУ - приёмо-передающее устройство, Мод - модулятор, КСД - квадратурный синхронный детектор, ФОЧ - формирователь опорных частот, УЗП - устройство защиты приёмника, МШУ - малошумящий усилитель, АТТ - управляемый аттенуатор, УС - усилитель СВЧ, HUB - сетевой концентратор.

Такая концепция построения РСА ДЗЗ была предложена московским НИИ точных приборов при создании известной экспериментальной РСА "Компакт" [2] и реализуется в данном проекте. Структура приёмо-передатчика L-диапазона показана на рис. 2.

Возможность сквозного самоконтроля трактов приёмо-передатчиков, при котором проверяются и усилители мощности, является важной. Она упрощает предполётный контроль аппаратуры РСА и исключает необходимость разрабатывать наземный пункт контроля параметров. Приёмо-передатчики на органических диэлектриках разных типов по технологии комбинированных многослойных печатных плат за исключением

волноводных узлов и оконечных мощных каскадов в X - диапазоне. Все фильтры СВЧ являются топологическими.

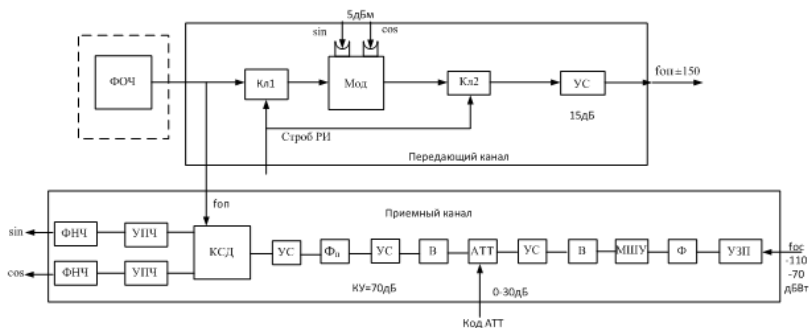


Рис. 2. Структура приёмо-передающего конвертора L- диапазона.

ФОЧ - формирователь опорных частот, Кл1, Кл2 - ключи, Мод - модулятор, УС - усилители СВЧ, ФНЧ - фильтры нижних частот, УПЧ - усилители промежуточной частоты, КСД - квадратурный синхронный детектор, В - вентили, Ф - фильтры, МШУ - малошумящий усилитель, УЗП - устройство защиты приёмника.

3. Усилители мощности

Габариты масса СВЧ приёмо-передатчиков в основном определяются оконечными усилителями мощности. Сделать их более компактными стало возможным за счёт применения GaN транзисторов в мощных выходных каскадах. Это справедливо для оконечных усилителей как X-, так и L-диапазона.

Построение усилителей двух диапазонов существенно отличается. Если в L-диапазоне оконечный каскад усилителя мощностью 400 Вт может быть выполнен на одном GaN транзисторе (использован QPD1016 фирмы Qorvo), то в X- диапазоне такое решение нереализуемо. Поэтому в X-диапазоне задача решается нами путём сложения мощностей нескольких одинаковых менее мощных усилителей, что определило его блочно-модульное построение (рис.3).

Из рис.3 понятно, что используются четыре одинаковых модуля с импульсной выходной мощностью 100 Вт каждый. После суммирования, фильтрации и передачи по кабелю в антенну (расположенной в кабине ЛА перед боковым иллюминатором) мощность снижается до требуемых 250 Вт. Мощность 100 Вт отдельного модуля, в свою очередь достигается сложением мощности двух 50-Вт усилителей, реализованных по ГИС-технологии. В ГИС-усилителях использованы транзисторы GaN.

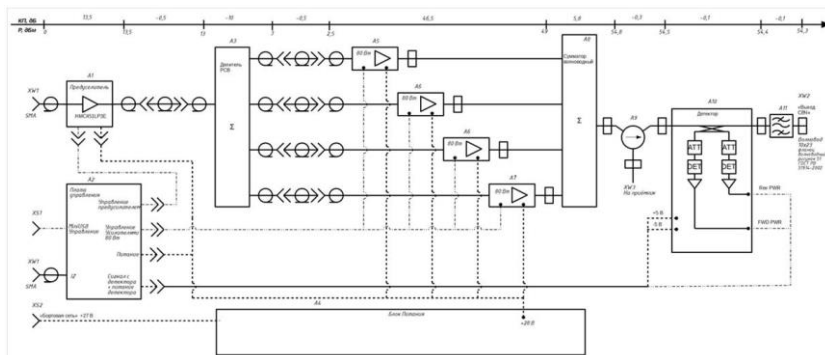


Рис. 3. Структура блочно-модульного усилителя мощности X-диапазона макета РСА ДЗЗ

4. Конструкция трактов

Конструктивно приёмо-передатчики оформлены в виде модулей высотой 2U для 19-дюймовой стойки. Компоновку приёмо-передатчика X-диапазона иллюстрирует 3D- модель, показанная на рис. 4.

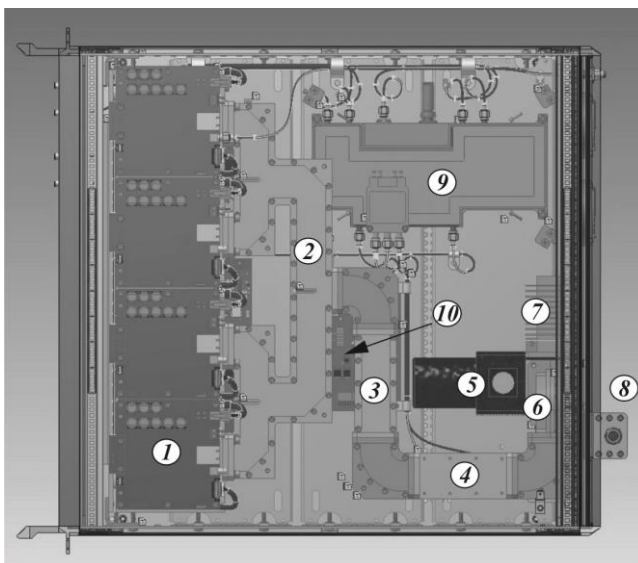


Рис. 4. Компоновка СВЧ приёмо-передатчика X-диапазона (приведена 3D-модель).

1- модули мощных усилителей, 2 - выходной сумматор, 3 - волноводный фильтр, 4- направленный ответвитель, 5 -Y-циркулятор, 6 - волноводный переход, 7 - согласованная нагрузка, 8 - коаксиальный вход-выход, 9 - приёмо-передающий конвертор на виброзащитном подвесе, 10 - модуль управления

Основной объём приёмно-передатчика, как видно из рис.4., занимает усилитель мощности и волноводные узлы антенно-фидерной системы (фильтр, НО, циркулятор и согласованная нагрузка). Замена волноводных узлов коаксиальными при актуальных мощностях приводит к увеличению массы. Проблема охлаждения решается принудительным воздушным охлаждением. Для виброзащиты от воздействия в первую очередь собственных вентиляторов использован двухступенчатый виброподвес блока ППУ (приёмно-передающего конвертора). Расчётная масса приёмно-передатчиков не превышает 12 кг. Таким образом, в работе предложена оптимальная по совокупности параметров, важнейшими из которых является ширина спектра сигнала и масса аппаратуры, схема построения СВЧ тракта бортовой РСА и её конструкция.

В настоящее время тракты спроектированы и изготавливаются на предприятии - индустриальном партнёре - АО "НПФ "Микран".

Источники финансирования и выражение признательности

Доклад подготовлен при поддержке Министерства Образования и Науки Российской Федерации в рамках выполнения соглашения 14.577.21.0279 от 26.09.2017, идентификатор проекта RFMEFI57717X0279.

Список литературы

[1] S.L. Vnotchenko, T.G. Moussiniants, R.V. Ermakov, M.E. Rovkin Modern Tendencies in the Development of Airborne Synthesized Aperture Radars for Remote Sensing of the Earth // XIV International scientific-technical conference "Actual Problems Of Electronic Instrument Engineering" (АПЭП 2018 "Актуальные проблемы электронного приборостроения" 2-6 октября 2018 г. - будет опубликовано)

[2] S.L. Vnotchenko, M.Yu. Dostovalov, A.V. Dyakov et al. Aviation four-band radar complex "КОМПАКТ" - features, results and development prospects. // Proceedings of the XXVIII Russian Symposium "Radar Investigations of Natural Environments», St.Petersburg, 2013, vol.1, pp. 34-44.