

КОНКУРСНАЯ РАБОТА

«Концепция построения интегрального широкополосного приемника на базе спиральной антенны»

Номинация: «Лучший инновационный проект»

Игнатьев М.Н., Боровик И.А.

АО «Центральное конструкторское бюро автоматики»

Космический проспект ул., 24а, Омск, 644027, Россия

aockba@ckba.net

Аннотация: *Описывается актуальная задача реализации миниатюрного сверхширокополосного малошумящего приемника СВЧ диапазона. Приемник реализован в интегральном исполнении с использованием бескорпусных кристаллов и сложной (составной) спиральной антенны, установленных в единый корпус, размещенный в основании антенны. В результате получены измерения основных параметров приемника.*

Ключевые слова: *широкополосный интегрированный приемник, широкополосная спиральная антенна, синтезатор, фильтр.*

Integrated broadband receiver concept based on spiral antenna

Ignatiev M.N., Borovik I.A.

JSC Central Design Bureau of Automatics

24a, Kosmichesky pr, Omsk, 644027, Russia

aockba@ckba.net

Abstract: *The current task of implementing a miniature ultra-wideband low-noise microwave receiver is described. The receiver is implemented in an integral design using shell-free crystals and a complex (composite) spiral antenna installed in a single housing located in the base of the antenna. The result is measurements of the main parameters of the receiver.*

Keywords: *broadband integrated receiver, broadband spiral antenna, synthesizer, filter.*

1. Введение

В современных радиотехнических системах пеленгации и сопровождения сверхширокополосные устройства (СШУ) предоставляют потенциальную возможность увеличения интеграции компоновки и

экономии габаритных размеров [1]. Для реализации этой возможности необходимо создавать миниатюрные высокочастотные широкополосные радиоэлектронные устройства, обладающие надежностью и уникальными эксплуатационными характеристиками. Пример реализации такого решения в виде структурной схемы представлен на рис. 1.

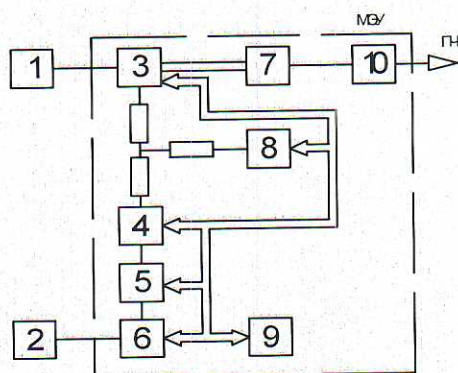


Рис. 1. Структурная схема приемника; 1 – антенна, 2 – опорный генератор, 3 – интегральная микросхема собственной разработки, 4 – аттенюатор, 5 – ФНЧ, 6 – гетеродин, 7 – трансформатор, 8 – детектор, 9 – микроконтроллер, 10 – ПЧ фильтр.

Fig. 1. Block diagram of receiver; 1 - antenna, 2 - reference generator, 3 - intrinsic integrated circuit, 4 - attenuator, 5 - LPF, 6 - local oscillator, 7 - transformer, 8 - detector, 9 - microcontroller, 10 - IF filter.

Для построения интегрального приемника с требуемыми характеристиками был выбран способ комплексирования спиральной антенны с СВЧ трактом, размещенном в корпусе антенны.

Спиральные антенны достаточно широкополосны (покрытие рабочего диапазона частот достигает 20:1 и более) и имеют большую ширину ДН, что обеспечивает требуемые широкие секторы обзора пространства. Наиболее распространённый вид сверхширокополосных спиральных антенн – плоские спиральные антенны, в которых для получения однолепестковой ДН за спиралью помещают отражающую полость или рефлектор. Для уменьшения габаритных размеров антенны и достижения максимальной широкополосности пространство между спиралью и дном отражающей полости или рефлектором заполняют диэлектрическими материалами.

В качестве прототипа выбрана сверхширокополосная спиральная антенна [2], [3]. Антенна выполнена в виде комбинированной двухзаходной спирали, состоящей из соединённых плоской и полусферической спиралей. Плоская спираль имеет полосковую конструкцию. Полусферическая проволочная спираль закреплена в канавках на наружной поверхности полого диэлектрического корпуса, внутри которого размещены согласующий

симметрирующий трансформатор и металлические рефлекторы плоской и полусферической спиралей с установленными на них кольцами из радиопоглощающих материалов. При этом внешний диаметр нижнего кольца равен диаметрам диэлектрического корпуса и рефлектора полусферической спирали, а с другой стороны металлического рефлектора плоской спирали установлено обратное кольцо из радиопоглощающего материала, обращенное рабочей поверхностью к металлическому рефлектору полусферической спирали.

Сверхширокополосная спиральная антенна работает в непрерывном диапазоне УВЧ и СВЧ с перекрытием 20:1, имеет удовлетворительные однонаправленные ДН с низким уровнем боковых и задних лепестков (не более минус 10 дБ). КУ антенны в рабочем диапазоне частот изменяется от минус 10 дБи до 0 дБи в нижней части диапазона и от 0 дБи до 3 дБи в его верхней части. Максимальный КУ, не превышающий 3 дБи, характерен для спиральных антенн с поглощающими полостями или резонаторами. Еще меньший КУ антенны в нижней части диапазона частот связан с ее малогабаритностью и является следствием обрезания части зоны эффективного излучения (активной зоны), которая для нижней части диапазона частот находится вблизи рефлектора полусферической спирали. Диаметр антенны равен $0,17\lambda_{\text{ниж}}$, где $\lambda_{\text{ниж}}$ – длина волны, соответствующая нижней граничной частоте рабочего диапазона частот.

Для реализации построения приемника в конструктиве антенны был рассчитан и реализован новый полосковый согласующий симметрирующий трансформатор, применен СВЧ широкополосный гермоввод, обеспечивающий изоляцию герметизированного пространства устройства, рассчитан СВЧ переход на 90 градусов, соединяющий гермоввод и копланарную линию передачи в гермопространстве, применена интегральная кремне-германиевая микросхема, включающая в себя приемный тракт, смеситель, усилители, умножитель гетеродина. Так же применен синтезатор с ФАПЧ с организацией деления частоты ГУНа «вниз» по частоте, фильтр гармоник для этого синтезатора, обеспечивающий по два переключаемых состояния частотной полосы на каждый деленный поддиапазон синтезатора.

Применена в устройстве обратная связь, позволяющая обеспечивать приемлемую мощность гетеродина, применен фильтр ПЧ собственной разработки по технологии IPD.

Устройство имеет возможность СВЧ соединитель использовать в качестве выхода антенны – для проверки, переключив золотую фольгу, этот же СВЧ соединитель можно использовать в качестве входа для проверки СВЧ тракта от входного сигнала до выхода ПЧ.

Данная концепция построения не лишена экономии: предполагается разработать один комплект конструкторской документации, создать одно рабочее место для полного цикла проверки электрических параметров. Данное решение позволяет получить выигрыш и по массогабаритным параметрам за счет отказа от внутри блочных СВЧ разъемов и кабелей между ними.

Внешний вид приемника представлен на рис. 2. Далее будут представлены результаты измерения составных частей приемника, измеренных до установки в общий тракт.

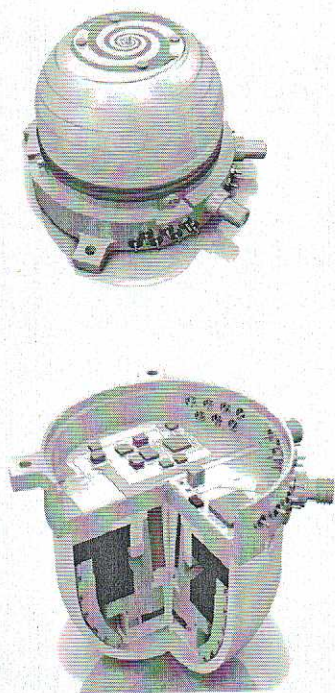


Рис. 2. Конструкция сверхширокополосного супергетеро-динного приемника дециметрового и сантиметрового диапазона длин волн

Fig. 2. Design of the superheteroplastic superhetero-din receiver of decimeter and centimeter range of wavelengths

2. Постановка задачи

Реализовать построение СВЧ тракта в одном корпусе Приемника теоретически возможно, но технически это сложная задача. Поэтому было принято решение спроектировать и изготовить кристалл (система на кристалле) сверхширокополосного супергетеродинного приемника дециметрового и сантиметрового диапазона длин волн (далее по тексту

СШСГП) в кремний-германиевом технологическом базисе по 130-ти нм процессу размером 2,45x1,01x0,1 мм. Размеры контактных площадок и расстояние между ними соответственно равны 80x80 и 80 мкм. Микрофотография кристалла представлена на рис. 3.

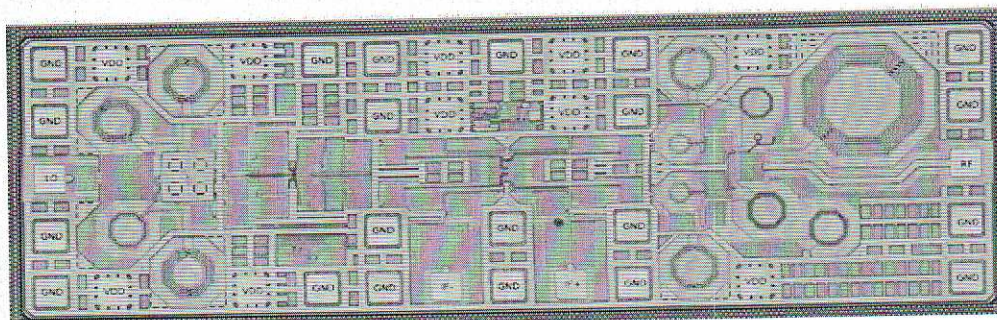


Рис. 3. Микрофотография кристалла сверхширокополосного супергетеро-динного приемника дециметрового и сантиметрового диапазона длин волн

Fig. 3. Microphotography of the crystal of the superheteroplastic superhetero-din receiver of decimeter and centimeter range of wavelengths

Для проведения замеров основных параметров СШСГП были решены следующие задачи:

1. Разработана и изготовлена специализированная оснастка для проведения измерений на коаксиальном тракте измерительных приборов.
2. Разработана методика экспериментальных исследований и подготовлены рабочие места.
3. Выполнен анализ результатов измерений.

Результаты измерений коэффициента шума позволили определить мощность шума на входе СШСГП по формуле:

$$P_{\text{ш}} = -144 + N_{\text{ш}} + \Delta F + 3, \text{ где}$$

- 144 (дБ) – мощность шумов на входе в полосе 1 МГц;
- $N_{\text{ш}}$ (дБ) – коэффициент шума СШП (измерено 12,5 дБ на 20 ГГц);
- ΔF (дБ) – шумовая полоса пропускания (в полосе 500 МГц $\Delta F = 27$ дБ);
- 3 (дБ) - увеличение шума при наличии зеркального канала.

$$P_{\text{ш}} = -144 + 12,5 + 27 + 3 = -101,5 \text{ (дБВт)}.$$

Чувствительность СШСГП согласно критерию Неймана-Пирсона в рабочей полосе частот: минус 91,5 дБВт.

С учетом диссипативных потерь в антенно-согласующем трансформаторе и линии передачи чувствительность приемника снизилась и составила: минус 88.5 дБВт.

Динамический диапазон приёмника составляет 55 дБВт (соответствует динамическому диапазону СШСГП).

Применен вид монтажа, позволяющий исключить влияния паразитных индуктивностей золотых проволочных перемычек. Для формирования и шлифовки бампов на кристалле, была разработана и изготовлена специализированная оснастка. В качестве линии передачи, подводящей сигналы СВЧ, на вход RF и LO кристалла СШСГП применен ниспадающий (заужающийся) заземленный копланар. Для дифференциальных выходов промежуточной частоты так же применён ниспадающий заземленный копланар с установленными в центральный проводник развязывающими по постоянному току конденсаторами номиналом 150 пФ. Геометрические размеры платы, минимальные - обеспечивающие подключение коаксиального тракта измерительных приборов на все входы-выходы оснастки.

Заключение

Разработанная концепция построения сверхширокополосного приемника СВЧ диапазона в интегральном исполнении показала очень хорошее совпадение результатов моделирования и измерений изготовленного образца. Применение таких решений открывает новые возможности в реализации современных миниатюрных приемных устройств.

Список литературы

1. Малорацкий Л.Г., Явич Л.Р. Проектирование и расчет СВЧ элементов на полосковых линиях. М., "Советское радио", 1972, (232), С.69-88
2. Пат. 2755340 Российская Федерация, МПК Н 01 Q 1/00. Сверхширокополосная спиральная антенна / Кохнюк Д. Д., Боровик И. А., Звягинцев И. Н., Селиванова Г.Н. №2020136350; заявл. 03.11.20; опубл. 15.09.21, Бюл. № 26.
3. Пат. 2673319 Российская Федерация, Спиральная антенна / Кохнюк Д. Д., Боровик И. А., Федоров Я. В., Павлов И. Д., Звягинцев И. Н., Волчонков В.В. № 2018101611; заявл. 16.01.18; опубл. 23.11.18, бюл. № 33.

Информация об авторах

Игнатъев Михаил Николаевич, начальник отдела, АО «ЦКБА»,
г. Омск, Российская Федерация.

Боровик Игорь Александрович, начальник сектора, АО «ЦКБА»,
г. Омск, Российская Федерация.