

# Опыт создания пятиканального СВЧ приёмного модуля Ku диапазона

Д.В. Бабинцев, А.С. Жерновенков, А.С. Каменьков, Е.В. Муштайкин

АО «НПП «Исток» им. Шокина»

**Аннотация:** рассмотрены проблемы создания пятиканального СВЧ приёмного модуля Ku диапазона, а также пути их решения. Изложены требования, предъявляемые к модулю на этапе разработки. Приведены результаты проектирования, изготовления и анализ полученных результатов при создании СВЧ модуля. Показаны структурная схема и конструкция модуля. Приведены параметры опытных образцов модуля.

**Ключевые слова:** СВЧ приёмный модуль, защитное устройство, аттенюатор, коэффициент шума.

## 1. Введение

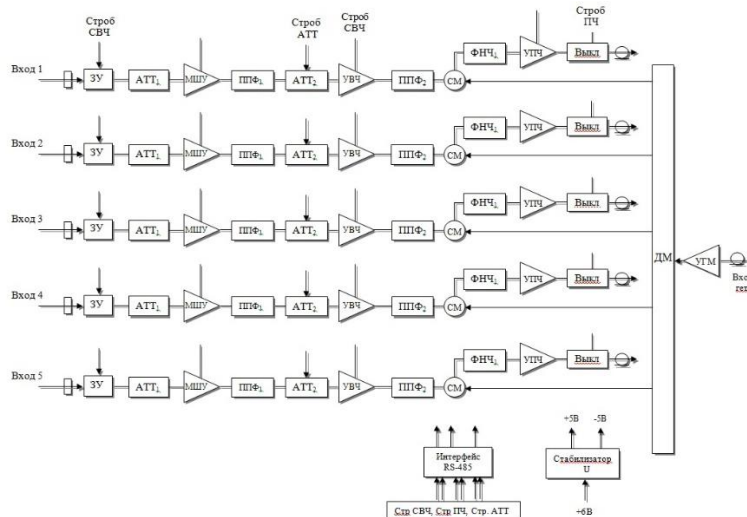
Создание пятиканального СВЧ приёмного модуля, обеспечивающего защиту приёмных каналов, от просачивающейся мощности передатчика, возможность включения входного аттенюатора с помощью внешнего сигнала управления, усиление входного СВЧ сигнала и его преобразования в сигнал ПЧ, стробирование СВЧ и ПЧ сигналов представляет собой сложную инженерную задачу, успешное решение которой возможно только при оптимальном сочетании схемотехники, конструкции и технологии изготовления.

Основные требования, предъявляемые к приёмному модулю:

|   |              |
|---|--------------|
| Центральная частота рабочего диапазона выходных частот, ГГц   | 0,54-0,5     |
| Коэффициент шума, дБ  | не более 5,5 |
| Коэффициент передачи, дБ  | 30- 36       |
| ВГЛАХ по входу $K_n$ на 1 дБ, дБ/Вт:  |              |
| - при выключенном аттенюаторе   | минус 55     |
| - при включенном аттенюаторе  | минус 25     |
| Подавление по зеркальному каналу приёма в полосе $f_{ПЧ}$ , дБ  | не менее 45  |
| Глубина стробирования сигнала СВЧ по стробу АТТ, дБ   | 30-35        |
| Глубина стробирования сигнала по стробам ВЧ и ПЧ, дБ  | не менее 80  |
| Развязка между каналами, дБ   | не менее 35  |
| КСВ(Н) сигнальных входов, ед  | не более 1,7 |
| Время восстановления коэффициента передачи после воздействия импульсной СВЧ мощности 15Вт ( $\tau=600$ нс, $Q=3$ ), нс (при уменьшении $K_n$ на 1 дБ), нс | не более 100 |

## 2. Конструкция

Анализ предъявляемых требований показывает, что основные трудности при разработке приёмного модуля связаны с выполнением требований по энергопотреблению, по подавлению зеркального канала, по обеспечению ВГЛАХ при достаточно высоком уровне входного сигнала, КСВ(Н) входа. Исходя из этого была разработана структурная схема модуля, в которой можно реализовать заданные электрические параметры. Структурная схема модуля приведена на рис.1



**Рисунок 1.** Структурная схема модуля

Как видно из рисунка, приёмный модуль состоит из 5-ти идентичных по своему составу приёмных каналов. Каждый из каналов содержит следующие элементы: волноводно-микрорословый переход, защитное устройство, аттенюатор (15 дБ), МШУ, аттенюатор (17дБ), усилитель СВЧ, полосно-пропускающий фильтр (ППФ), смеситель, выключатель ПЧ, усилитель промежуточной частоты (УПЧ), коаксиальный разъём на выходе. В состав модуля также входят усилитель гетеродинной мощности (УГМ), пятиканальный делитель гетеродинной мощности (ДГМ) и схема управления.

Усилитель гетеродинной мощности (УГМ) выполнен с использованием микросхемы НМС441 производства фирмы Hittite с коэффициентом усиления 15,5 дБ и выходной мощностью в насыщении +22дБм. Пятиканальный делитель гетеродинной мощности (ДГМ) реализован на мостах Уилкинсона и ответвителе.

Схема управления, содержит стабилизатор напряжения (+5 В), преобразователь напряжения (-5 В), драйверы управления, приёмники интерфейса RS485 для управляющих напряжений «Строб ВЧ», «Строб АТТ», «Строб ПЧ».

Защитное устройство (ЗУ) реализовано в микрорословом исполнении с применением ограничительного диода КРПГ.757631.008 (ТС0.734.007ТУ) («Параграф») и обеспечивает глубину запираения около 35 дБ.

Входной малошумящий усилитель (МШУ) выполнен на основе микросхем НМС516 производства фирмы Hittite с коэффициентом шума 1,8 дБ и коэффициентом усиления 20 дБ. Усилитель СВЧ второго каскада выполнен с использованием микросхемы НМС462 производства фирмы Hittite с коэффициентом шума 2,5 дБ и коэффициентом усиления 15 дБ.

Управляемый аттенюатор, обеспечивающий расширение динамического диапазона в режиме приёма и увеличение глубины запираения в режиме передатчика, выполнен с использованием диодов 2А553А-3 (аА0.339.435 ТУ) и состоит из 2-х секций 15 дБ и 17 дБ. Секция аттенюатора 15 дБ конструктивно совмещена на едином основании с защитным устройством.

Полосно-пропускающий фильтр (ППФ) выполнен на основе связанных микрорословых линий и состоит из двух секций.

Балансный смеситель выполнен с использованием диодов СВЧ 2А131А-3 (аА0.339.435 ТУ). Потери преобразования составили около 8 дБ.

Выключатель ПЧ выполнен на основе микросхемы НМС270MS8G производства фирмы Hittite и обеспечивает развязку не менее 43 дБ.

Усилитель промежуточной частоты (УПЧ) выполнен с использованием

микросхемы SGA-3463 производства фирмы – SIRENZA MICRODEVICES с коэффициентом шума 2,5 дБ и коэффициентом усиления 23 дБ.

Стабилизатор напряжения (+5В) представляет собой 2 микросхемы LT1129IST-5 производства фирмы – Linear Technology

Для стробирования питания усилителей использовался транзистор IRLML5203 производства фирмы «International Rectifier»

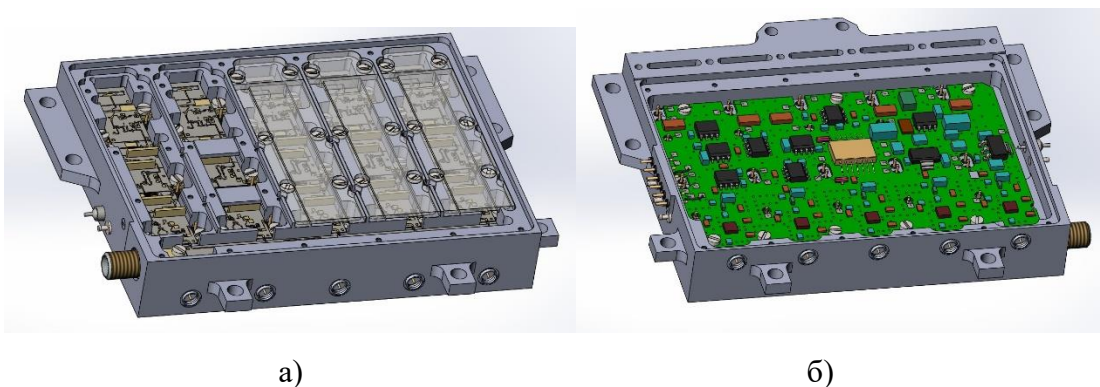
Преобразователь (-5В) реализован с использованием микросхемы MAX889SESA производства фирмы Maxim Integrated. В качестве драйверов управления использовались микросхемы MADRCC0005 производства фирмы M/A-COM. Для повышения помехоустойчивости по цепям управления «Строб ВЧ», «Строб АТТ», «Строб ПЧ». в модуле использовался интерфейс RS485 с использованием микросхемы ADM485AR производства фирмы Analog Devices.

Конструкция модуля монолитно-интегральная в металлическом корпусе с волноводными входами и коаксиальными выходами. Корпус модуля изготовлен из алюминиевого сплава Д16Б, обеспечивающего жесткость конструкции и хорошую теплопроводность. Покрытие корпуса – никелевое (ХимН18Н1), обеспечивающее необходимую паяемость при сборке и защиту от агрессивной среды. Крышки изделия изготавливаются из алюминиевого сплава АМцМ с последующим покрытием ХимН18Н1.

Гибридные интегральные схемы реализованы с использованием поликорковых подложек толщиной 0,25мм и 0,5 мм. В качестве материала оснований ГИС использовался ковар 29НК-НТ, а для защитного устройства – псевдосплав МД-50, обладающий хорошей теплопроводностью, обеспечивающий отвод тепла от ограничительного диода. При сборке корпуса используется ступенчатая пайка с использованием припоя трубчатого 0,5 мм CW-802 Indium ( $T_{пл}=179^{\circ}C$ ), пасты паяльной ППВ-190 ( $T_{пл}=180^{\circ}-190^{\circ}C$ ), припоя ПИиСр-3 ( $T_{пл}=141^{\circ}C$ ). Для пайки плат на основания применяется припой (лента 80AU/20SN STRIP S-ST, .375X.001" SPM (9,5x0,025) (золото-олово;  $T_{пл}\approx 280^{\circ}C$ )). Микросхемы и чип-конденсаторы приклеиваются клеем ЭЧЭ-С. При сборке узлов используется термозвуковая и контактная сварки.

На плате управления, изготовленной из стеклотекстолита СФ-2-35Г-1, установлены выключатель ПЧ, УПЧ, стабилизаторы напряжения (+5В), преобразователь напряжения (-5В), драйверы управления и микросхемы интерфейса RS485.

Внешний вид модуля представлен на рис.2.



**Рисунок 2.** Внешний вид модуля: а) со стороны СВЧ части, б) со стороны НЧ части.

Для обеспечения требований по климатическим воздействиям конструкция корпуса модуля выполнена в герметичном исполнении с использованием впаиваемых

герметичных СВЧ и НЧ вводов, а также заделкой швов между крышками и корпусом вакуумноплотным клеем ТК-8А.

Для подачи сигнала гетеродина использовался коаксиальный переход КРПГ.434511.015 сечением 3,5/1,52 мм; для выходов ПЧ коаксиальные выводы КРПГ.433434.054 сечением 2,4/1,04 мм (типа «SMP»); для подачи сигналов управления выводы КРПГ.433434.005-02, для подачи напряжения питания фильтр КРПГ.433533.002-02.

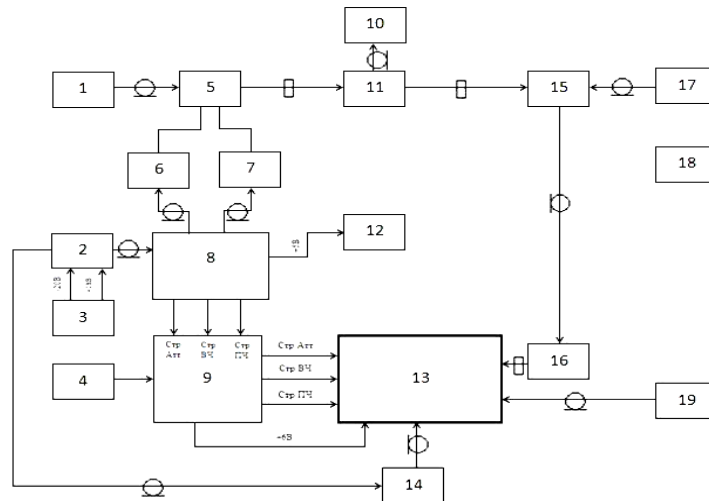
### 3. Результаты

По разработанной документации были изготовлены опытные образцы, которые успешно прошли предварительные испытания на соответствие заданным требованиям.

Характеристики опытных образцов модулей приведены ниже:

|  |            |
|--|------------|
| Центральная частота рабочего диапазона выходных частот, ГГц  | 0,54±0,57  |
| Коэффициент шума, дБ   | 4,7        |
| Коэффициент передачи, дБ   | 31,6÷35,5  |
| ВГЛАХ по входу $K_n$ на 1 дБ, дБ/Вт:   |            |
| - при выключенном аттенуаторе  | минус 54,6 |
| - при включенном аттенуаторе   | минус 24,5 |
| Подавление по зеркальному каналу приёма в полосе $f_{ПЧ}$ , дБ   | 48,5       |
| Глубина стробирования сигнала СВЧ по стробу АТТ, дБ  | 31,2÷33,2  |
| Развязка между каналами, дБ  | 37         |
| КСВ(Н) сигнальных входов, ед   | 1,6        |
| Время восстановления коэффициента передачи после воздействия импульсной СВЧ мощности 15Вт ( $\tau=600$ нс, $Q=3$ ), нс (при уменьшении $K_n$ 1 дБ), нс | 80         |

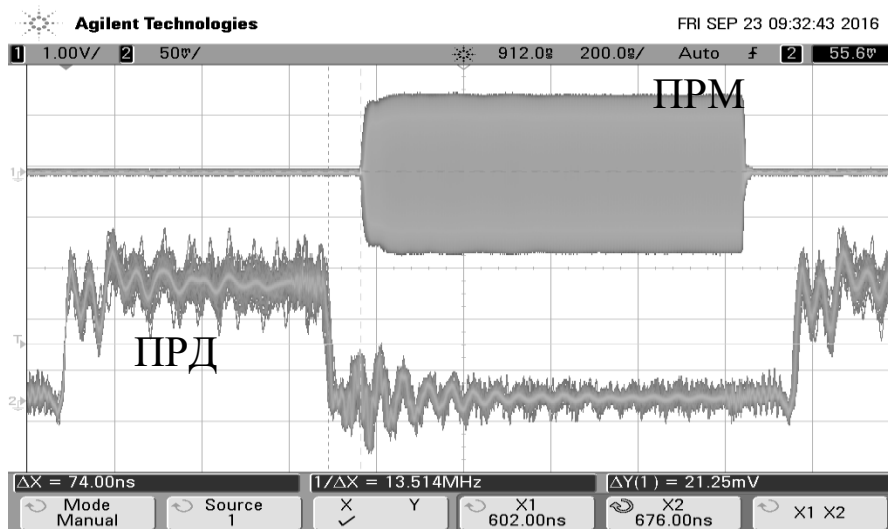
Также был разработан стенд измерения времени восстановления коэффициента передачи модуля после воздействующей СВЧ импульсной мощности. Стенд обеспечивает формирование входного сигнала, импульсного сигнала помехи, сигнала гетеродина, импульсных сигналов управления стробами СВЧ, ПЧ, аттенуатора и их синхронизацию. Структурная схема стенда приведена на рис.3.



1–Генератор сигналов Г4-108; 2– БЗГ; 3–Источник питания ТЕС 1300 К; 4–Источник питания ТЕС-23; 5–Усилитель СВЧ КИУ; 6–Модулятор; 7– ВИП; 8– Синхронизатор; 9–Пульт КРПГ 434715.002; 10–Ваттметр М3-56; 11–Волноводный переключатель; 12–Источник питания Б5-71; 13–Испытуемый модуль; 14–Осциллограф 54615В; 15–СВЧ тракт; 16– пятиканальный КВП; 17–Генератор сигналов Г4-111; 18–Мультиметр 34411А; 19–Генератор сигналов Г4-111.

**Рисунок 3.** Стенд измерения времени восстановления коэффициента передачи после воздействующей СВЧ импульсной мощности

Проведённые на стенде испытания модуля подтвердили его устойчивость к воздействию импульсного СВЧ сигнала. На рис. 4 показана осциллограмма выходного сигнала при воздействии на модуль импульсного сигнала мощностью 15 Вт.



**Рисунок 4.** Осциллограмма выходного сигнала модуля.

В результате проведённой работы разработан приёмный модуль, соответствующий требованиям технического задания. Изготовлены опытные образцы, проведены предварительные испытания, конструкторской документации присвоена литера «О».

#### Список литературы

1. HMC516-Die Техническое описание и информация // Analog Devices|Semiconductor and Signal Processing IS [Электронный ресурс]. 2013. URL: <https://www.analog.com/ru/products/hmc516-die.html> (дата обращения: 20.04.2021)
2. HMC462-Die Техническое описание и информация // Analog Devices|Semiconductor and Signal Processing IS [Электронный ресурс]. 2013. URL: <https://www.analog.com/ru/products/hmc462-die.html> (дата обращения: 20.04.2021)
3. HMC441-Die Техническое описание и информация // Analog Devices|Semiconductor and Signal Processing IS [Электронный ресурс]. 2013. URL: <https://www.analog.com/ru/products/hmc441-die.html> (дата обращения: 20.04.2021)
4. SGA3463Z – Qorvo // Qorvo [Электронный ресурс]. 2015. URL: <https://www.qorvo.com/products/p/SGA3463Z> (дата обращения: 20.04.2021)
5. IRLML5203 – Infineon Technologies // Semiconductor and System Solutions - Infineon Technologies [Электронный ресурс]. 2004. URL: <https://www.infineon.com/cms/en/product/power/mosfet/20v-250v-r-channel-power-mosfet/irlml5203/> (дата обращения: 20.04.2021)
6. MAX889 High-Frequency, Regulated, 200mA, Inverting Charge Pump // Maxim Integrated – Analog, Linear and Mixed-Signal Devices [Электронный ресурс]. 2000. URL: <https://www.maximintegrated.com/en/products/power/charge-pumps/MAX889.html> (дата обращения: 20.04.2021)