

УДК 004.387: 654.022

DOI:10.36815/2073-8250-2020-258-3-60-64

ПРИЁМНЫЙ ТРАКТ ЦИФРОВОГО СПУТНИКОВОГО МОДЕМА, ПОСТРОЕННЫЙ НА ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЕ

Е.В. Белов, Е.А. Брусин

Филиал ФГУП НИИР – ЛОНИИР,
г. Санкт-Петербург, Большой Смоленский пр-т, д. 4

В работе предложена структура приёмного тракта современного спутникового модема, построенного на основе компонентов отечественного производства. Обсуждаются параметры разработанного приёмника. Представлена 3D-модель платы приёмного тракта, полученная с использованием комплексной системы автоматизированного проектирования (САПР) радиоэлектронных средств Altium Designer.

Ключевые слова: спутниковый модем, приёмный тракт, фильтр нижних частот (ФНЧ), малощумящий усилитель (МШУ), дифференциальный усилитель, регулируемый усилитель (РУ), аналого-цифровой преобразователь (АЦП), цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), синтезатор частоты, чувствительность

Сведения об авторах: Белов Егор Валерьевич., below.georgiy@yandex.ru; Брусин Ефим Александрович., к.т.н., yefim@loniir.ru

DIGITAL SATELLITE MODEM RECEIVER DESIGNED WITH RUSSIAN-MADE ELECTRONIC COMPONENTS

E. V. Belov, E. A. Brusin

*Branch of the Federal State Unitary Enterprise Radio Research and Development Institute
(NIIR) – LONIIR
Saint Petersburg, Bolshoy Smolenskiy ave., bld.4*

In this paper we propose the design of the receiving path of an advanced satellite modem. The receiver comprises only the components produced by Russian domestic companies. The parameters of the receiver are discussed in the paper. 3D model of the receiver board obtained using the Altium Designer integrated computer-aided design (CAD) system is also presented.

Keyword: satellite modem, receiving path, low-pass filter (LPF), low-noise amplifier (LNA), differential amplifier, equalizing amplifier, analog-to-digital converter (ADC), digital-to-analog converter (DAC), frequency synthesizer, sensitivity

Data on Authors: Belov Egor Valerievich, below.georgiy@yandex.ru, Brusin Efim Aleksandrovich, Ph.D., yefim@loniir.ru

Введение

Актуальность разработки приёмного тракта цифрового спутникового модема, основанного на компонентах отечественного производства, в значительной степени определяется тем, что за прошедшие годы отечественная элементная база стремительно развивалась – расширилась номенклатура компонентов, выросло их качество. Следует также отметить, что из-за возможных экспортных ограничений на поставки ряда критических микросхем разработка приёмного тракта, ориентированного на использование отечественной элементной базы, приобретает ещё больший практический интерес.

Приёмный тракт спутникового модема, как правило, используется для обработки сигнала со следующими параметрами:

- диапазон частот принимаемого сигнала – 950-2150 МГц;
- виды модуляции ФМ-2, ФМ-4, ФМ-8, КАМ-16;
- диапазон символьной частоты принимаемых цифровых сигналов – от 64 кбод до нескольких десятков МБод;
- минимальный уровень принимаемого сигнала:

$$V_{\text{мин}} = -130 \text{ дБм} + 10 \cdot \lg(V_{\text{сим}}),$$

где $V_{\text{сим}}$ – символьная частота принимаемого сигнала, выраженная в бит/с;

- максимальный уровень общего (комpositного) сигнала на входе приёмника – минус 10 дБм.

Структура приёмного тракта

Современные модемы используют когерентную обработку сигнала. Поэтому при обработке сложных сигналов необходимо обеспечить высокое качество приёмного тракта.

Реализация приёмного тракта, таким

образом, играет ключевую роль при разработке спутникового модема.

При построении приёмного тракта наиболее простым решением была бы реализация непосредственной дискретизации принимаемого сигнала. Однако при дискретизации сигнала с полосой 1,2 ГГц необходимо АЦП с частотой дискретизации не менее 2..3 ГГц. Такие преобразователи не выпускаются отечественной промышленностью. Поэтому приёмную часть демодулятора предлагается построить на основе архитектуры прямого преобразования сигнала. Этот подход отражает структурная схема приёмного тракта, выполненная с учётом используемых компонентов, представленная на рис. 1. Приёмный тракт состоит из нескольких функциональных частей. В первую очередь, это собственно приёмник, который может быть условно разделён на высокочастотную и низкочастотную часть.

Ключевым элементом в схеме высокочастотной части приёмника является интегральная микросхема K1508MT015K [1], на основе которой построен синтезатор частоты приёма [СЧП]. Это синтезатор частоты с дробным коэффициентом деления и интегрированным перестраиваемым генератором, управляемым напряжением (ГУН). Синтезатор создаёт опорный сигнал для приёмника с шагом сетки 1 МГц, который поступает на гетеродинный вход широкополосного квадратурного демодулятора прямого преобразования 1327MB015 [2]. На радиочастотный вход демодулятора поступает сигнал в L -диапазоне. Он проходит через схему защиты M54405-1-1, построенную на базе диодов Шоттки [3], и малошумящий усилитель, реализованный в виде микросхемы широкополосного усилителя 1324УВ14УВ1 [4].

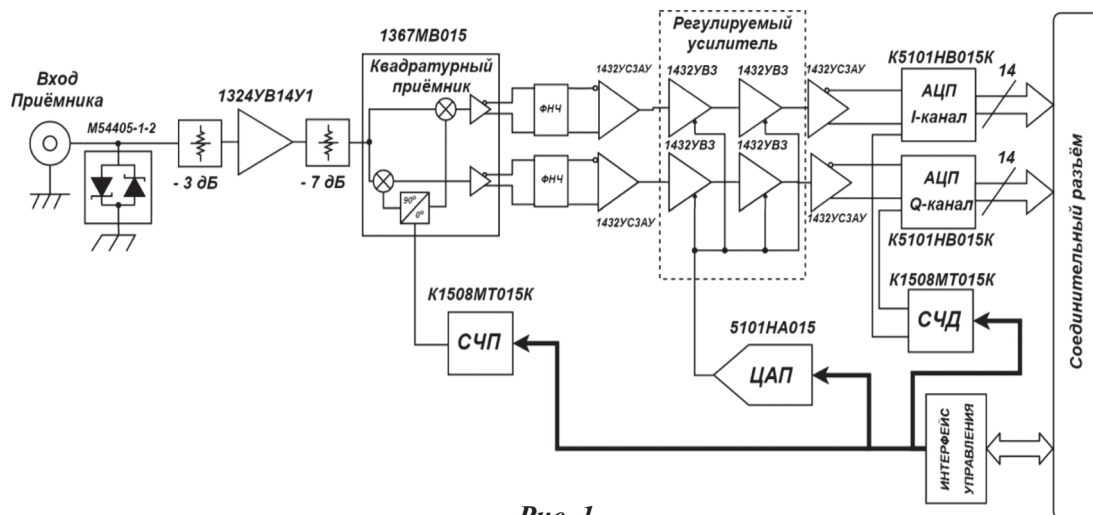


Рис. 1

Структурная схема спутникового демодулятора

Схема защиты необходима для поддержания работоспособности МШУ, так как предельный уровень сигнала на входе усилителя не должен превосходить 9 дБм. Также между схемой защиты и МШУ и между МШУ и квадратурным демодулятором включены два аттенюатора. Они служат для улучшения согласования приёмника и ограничения уровня сигнала на входе квадратурного демодулятора, построенного на основе микросхемы 1367МВ015 [2].

В квадратурном демодуляторе происходит выделение модулирующего сигнала из модулированного колебания высокой (несущей) частоты с помощью квадратурного перемножения принятого сигнала и колебания гетеродина, созданного синтезатором. С квадратурного Q и синфазного I дифференциальных выходов демодулятора сигнал поступает в низкочастотную часть схемы. Низкочастотная часть тракта состоит из двух идентичных квадратурных каналов. Каждый канал включает в себя дифференциальный фильтр нижних частот (ФНЧ) и широкополосный дифференциальный усилитель 1432УС3АУ [4].

Для штатной работы демодулятора необходима схема автоматической регули-

ровки усиления (АРУ). Она состоит из четырёх быстродействующих регулируемых усилителей 1432УВ3 [4] по два на каждый квадратурный канал. Каждый усилитель 1432УВ3 обеспечивает регулировку усиления 40 дБ, что в сумме даёт 80 дБ.

«Сжатие» динамического диапазона входного сигнала петлёй АРУ до приемлемого уровня осуществляется напряжением, формируемым цифро-аналоговым преобразователем (ЦАП) 5101НА015У [1].

Далее сигналы поступают на дифференциальные усилители 1432УС3АУ и на входы пары аналого-цифровых преобразователей (АЦП). В структуре используются 14-разрядные быстродействующие малопотребляющие конвейерные АЦП 5101НВ015 [1]. Частота дискретизации АЦП составляет 120 МГц. Соответственно, для предотвращения эффекта наложения спектров подавление ФНЧ, включённых на выходах квадратурного демодулятора, на частоте 60 МГц должно быть не хуже 40 дБ. В этом случае полоса ФНЧ составила 27 МГц.

Сигнал частоты дискретизации формирует схема формирования частоты дискретизации [СЧД], построенная на основе синтезатора той же модели, что использу-

ется для создания гетеродинного сигнала приёмника.

Интерфейс управления приёмного модуля был реализован на основе микросхем 5514БЦ2Т5-245 [5] и 5572ИН2АУ [1].

При проектировании рассматриваемого тракта была произведена оценка чувствительности радиоприёмной системы, которая составила –112 дБм в полосе 64 кГц, а также было рассчитано отношение сигнал/шум, которое составило 36 дБ.

Такое отношение сигнал/шум обеспечивает уверенный приём и демодуляцию сигналов с угловой и амплитудной модуляцией всех типов, таких как ФМ-2, ФМ-4,

ФМ-8, КАМ-16, даже при минимальном уровне принимаемого сигнала.

Хотелось бы отметить, что для реализации данного проекта был проведён тщательный анализ отечественного рынка полупроводниковых компонентов и учтено влияние параметров основных микросхем на наиболее существенные электрические характеристики приёмного тракта.

В таблице представлен перечень отечественных компонентов, которые вошли в итоговый приёмный тракт.

В качестве иллюстрации проведённой разработки на рис. 2 представлена 3D-модель модуля приёмного тракта.

Таблица

Перечень отечественных компонентов, созданных при проектировании приёмного тракта

Тип компонента	Модель	Производитель	Зарубежный аналог
АЦП, 14 разрядов, 125 МГц	K5101НВ015К	АО «ПКК Миландр»	LTC2220 (Analog Devices)
Синтезатор частоты со встроенным ГУН	K1508MT015К		ADF4350 (Analog Devices)
Цифро-аналоговый преобразователь	5101НА015		DAC7513 (Texas Instruments)
8-канальный двунаправленный формирователь с двумя напряжениями питания	5572ИН2АУ		SN74LVC8T45 (Texas Instruments)
Широкополосный усилитель	1324УВ14У1	АО «НПП «Пульсар»	SBB5089 (Qorvo)
Дифференциальный усилитель	1432УС3АУ		AD8138 (Analog Devices)
Широкополосный регулируемый усилитель	1432УВ3		AD603 (Analog Devices)
Широкополосный квадратурный демодулятор	1327МВ015		ADL5382 (Analog Devices)
Линейные стабилизаторы напряжения	5321ЕН04Б4 5321ЕН04Г4 5321ЕР041А	АО «Группа кремний ЭЛ»	LTC1963 (Analog Devices)
Диоды Шоттки	КДШ160ВС9		BAT54S (Infinition)
8-канальный двунаправленный формирователь	5514БЦ1Т7-245	АО «Ангстрем»	SN74LVC245 (Texas Instruments)
4-канальный буфер с тремя состояниями на выходе	5514БЦ2Т5-125		SN74LVC125 (Texas Instruments)
Схема защиты	M54405-1-1	ЗАО «НПП «Планета-Аргалл»	MADL-011021 (MACOM)

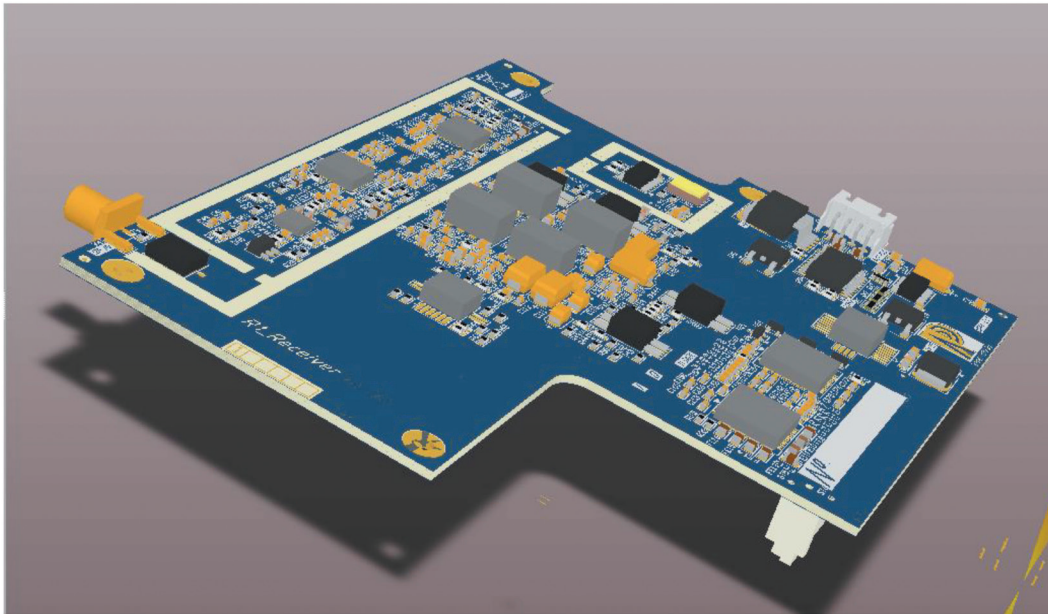


Рис. 2
3D-модель модуля приёмного тракта

Заключение

В работе предложена структура приёмного тракта спутникового модема, ключевые узлы которой реализуются на основе компонентов отечественного производства. Полученные результаты показывают, что приёмный тракт, построенный в

основном на отечественной элементной базе, при приемлемых массо-габаритных параметрах обеспечивает заданные требования по чувствительности, динамическому диапазону и диапазонам несущей и символьной частот принимаемого сигнала.

Литература

1. АО «ПКК Миландр» сайт. – URL: <https://www.milandr.ru>
2. АО «НИИМА «Прогресс» сайт. – URL: <https://mri-progress>.
3. НПП «Планета - Аргалл» сайт. – URL: <http://www.argall.ru>
4. АО «НПП «Пульсар» сайт. – URL: <http://pulsarnpp.ru>
5. АО «Ангстрем» сайт. – URL: <https://www.angstrem.ru>

References

1. PKK Milandr JSC website, available at: <https://www.milandr.ru>
2. NIIMA Progress JSC website, available at: <https://mri-progress>
3. Planeta-Argall SPE website, available at: <http://www.argall.ru>
4. SPE Pulsar JSC website, available at: <http://pulsarnpp.ru>
5. Angstrem JSC website, available at: <https://www.angstrem.ru>