

УДК 621.396.945

DOI 10.53403/9785951505170_2021_26_2_266

Приемопередающее устройство ретранслятора с бортовой обработкой сигналов

С. М. Гаранин*, С. В. Зозуля*,
И. А. Иларионов*, А. Л. Кунилов*

Приводятся результаты разработки технических предложений по созданию технического облика приемопередатчика бортового ретранслятора на основе схемы приемника с прямым преобразованием частоты. Рассмотрены особенности построения функциональных схем составных частей приемопередатчика: приемника, передатчика и системы встроенного контроля. Приведены численные оценки ожидаемых значений их параметров.

Введение

Современное развитие спутниковых систем связи направлено на совершенствование технологий построения бортовых ретрансляторов, предназначенных для приема сигналов от одной передающей наземной станции, их усиления и передачи в направлении другой наземной станции. Традиционные сети спутниковой связи используют прямую ретрансляцию сигналов, при которой принимаемый ретранслятором сигнал усиливается, преобразуется по частоте, фильтруется и переизлучается в направлении приемной наземной станции. Данный вид ретрансляции имеет свои преимущества и недостатки. К достоинствам следует отнести простоту исполнения, прозрачность и надежность, к недостаткам – неполное использование мощности, низкую помехоустойчивость и возможность несанкционированного доступа.

Недостатки прямой ретрансляции устраняются применением спутниковой связи с обработкой сигналов на борту ретранслятора, при которой в его схему вводится блок обработки информации, производящий помехоустойчивое кодирование и идентификацию абонента, исключающую несанкционированный доступ в каналы связи [1, 2].

* Филиал РФЯЦ-ВНИИЭФ «НИИИС им. Ю. Е. Седакова», г. Н. Новгород.

Основным структурным компонентом ретранслятора с бортовой обработкой (РБО), определяющим его возможности, является приемопередающее устройство (ППУ).

Целью исследований, результаты которых приведены в настоящей работе, является разработка технического облика перспективного ППУ РБО с наилучшими (по сравнению с существующими) ожидаемыми техническими характеристиками.

Структурная схема ППУ РБО

Структурная схема ППУ РБО (рис. 1) состоит из приемника (ПРМ), передатчика (ПРД), системы встроенного контроля (СВК), блока управления и синхронизации (БУС).

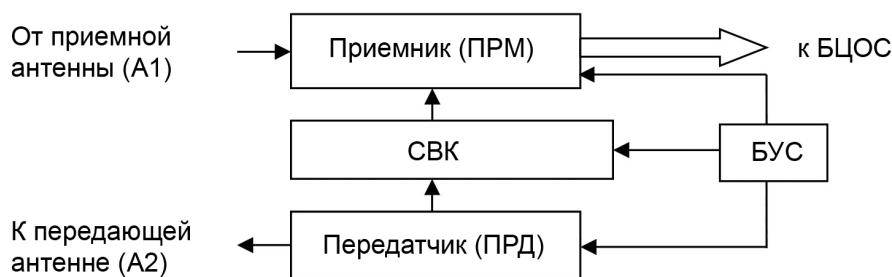


Рис. 1. Структурная схема ППУ РБО

Из рис. 1 видно, что внешними устройствами по отношению к ППУ РБО являются приемная антенна (A1), передающая антенна (A2) и блок цифровой обработки сигнала (БЦОС).

Рассмотрим особенности построения составных частей структурной схемы ППУ РБО, приведенной на рис. 1: ПРМ, ПРД и СВК.

Приемник ППУ РБО

Приемные устройства современных бортовых ретрансляторов проектируются на основе супергетеродинных принципов построения с одним или двумя преобразованиями частоты [1–4].

На рис. 2 приведены упрощенные функциональные схемы ПРМ ППУ РБО с одним (а) и двумя (б) преобразованиями частоты.

ПРМ, построенные по схемам, приведенным на рис. 2, содержат усилители высокой частоты (УВЧ), смесители (СМ, СМ1, СМ2), гетеродины (Гет, Гет1, Гет2), усилители промежуточной частоты с фильтрами сосредоточенной селекции (УПЧ+ФСС, УПЧ1+ФСС1, УПЧ2+ФСС2), аналого-цифровые преобразователи (АЦП) и отличаются сложностью практической реализации ввиду широкой номенклатуры входящих устройств. Наличие в составе функциональных схем ПРМ устройств нескольких диапазонов частот (входная частота, частоты гетеродинов, промежуточные частоты, видеочастоты) снижает возможности малогабаритного исполнения ПРМ в виде монолитных интегральных схем (МИС) из-за сложности совмещения технологий проектирования

и изготовления разнотипных устройств нескольких диапазонов частот. Например, реализация полосовых фильтров промежуточной частоты (ФСС), реализуемых, как правило на поверхностных акустических волнах (ПАВ), не интегрируются в состав МИС ПРМ, содержащих усилители и гетеродины.

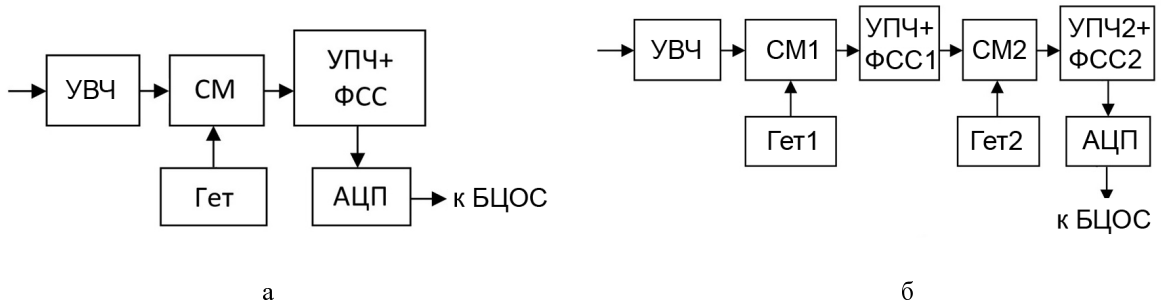


Рис. 2. Упрощенные функциональные схемы супергетеродинных ПРМ ППУ

В результате проведенных исследований в качестве основы для построения ПРМ ППУ РБО предложена схема приемника прямого преобразования, в котором принимаемый сигнал с несущей частоты прямым преобразованием опускается на видеочастоту с образованием квадратурных составляющих огибающей и далее их оцифровкой получают комплексную огибающую в цифровом виде [5].

Преимуществами схемы ПРМ прямого преобразования по сравнению с супергетеродинной схемой являются:

- отсутствие зеркального канала;
- отсутствие ФСС на радиочастоте;
- оцифровка огибающей вместо оцифровки сигнала промежуточной частоты;
- сокращенная номенклатура применяемых устройств;
- экономичность;
- простота настройки и регулировки.

Функциональная схема ПРМ прямого преобразования приведена на рис. 3.

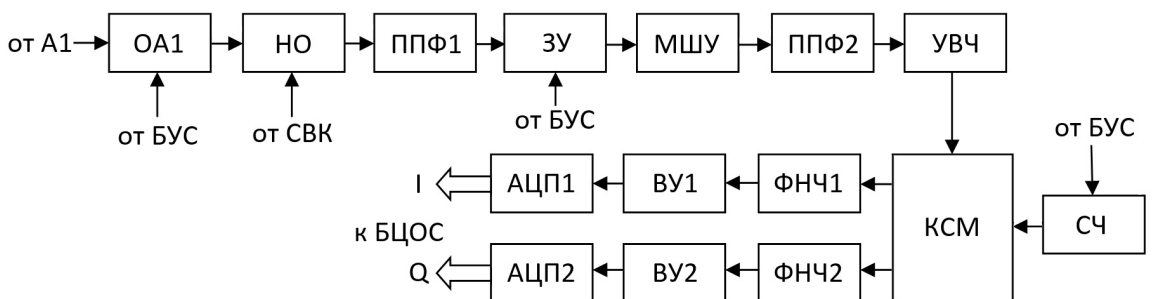


Рис. 3. Функциональная схема ПРМ прямого преобразования (СЧ – синтезатор частоты)

В состав функциональной схемы ПРМ, приведенной на рис. 3, входят следующие устройства:

- отключатель приемной антенны (ОА1), предназначенный для отключения А1 в режиме «Тест-контроль», управляемый командой с БУС;
- направленный ответвитель (НО), предназначенный для подачи в приемный тракт тестового сигнала с выхода СВК;
- входной полосно-пропускающий фильтр (ППФ1), осуществляющий предварительную селекцию диапазона частот принимаемого сигнала;
- устройство защиты (ЗУ), предназначенное для защиты от мощных помех, управляемое сигналом с БУС;
- малошумящий усилитель (МШУ), осуществляющий предварительное усиление входного сигнала с минимальным внесением собственного шума;
- полосно-пропускающий фильтр (ППФ2), выделяющий диапазон частот принимаемых сигналов из смеси их с собственным шумом МШУ;
- усилитель высокой частоты (УВЧ), усиливающий полезный сигнал до уровня, необходимого для его последующего преобразования на видеочастоту;
- квадратурный смеситель (КМС), предназначенный для выделения комплексной огибающей сигнала в аналоговом виде;
- фильтры низкой частоты (ФНЧ1, ФНЧ2), осуществляющие сосредоточенную фильтрацию полезного сигнала.
- видеоусилители (ВУ1, ВУ2), усиливающие напряжение квадратурных составляющих до уровня, необходимого для их последующей оцифровки;
- аналого-цифровые преобразователи (АЦП1, АЦП2), преобразующие аналоговую форму комплексной огибающей сигнала в цифровую форму, тактовая частота на которые поступает с БУС;
- СЧ, формирующий высокостабильный по частоте сигнал для КСМ.

Оценки технических требований к входящим в ПРМ устройствам проводились при следующих основных исходных данных:

- входной сигнал – последовательность фазоманипулированных радиоимпульсов;
- диапазон частот принимаемых сигналов: $\Delta f_{\text{ПРМ}} = f_1 \pm 7 \text{ МГц}$;
- предельная чувствительность (при сигнал/шум = 1) должна быть меньше -155 дБВт ;
- полоса пропускания линейной части Δf должна быть: $\Delta f \approx 20 \text{ кГц}$;
- динамический диапазон приемника ΔP должен быть не менее $\Delta P \geq 60 \text{ дБ}$.

По результатам численных оценок и анализа характеристик отечественной ЭКБ получены следующие значения параметров, входящих в ПРМ устройств, применение которых обеспечит выполнение приведенных выше технических требований:

- потери ОА1 в открытом состоянии составляют приблизительно 0,3 дБ, в закрытом состоянии – не менее 40 дБ;
- потери НО в прямом направлении составляют приблизительно 0,2 дБ, переходное ослабление равно приблизительно 30 дБ;
- полоса пропускания ППФ1, ППФ2 составляет приблизительно 14 МГц, потери на центральной частоте – около 0,5 дБ;
- потери ЗУ в отсутствие мощных помех на входе ПРМ составляют приблизительно 0,5 дБ;
- коэффициент усиления МШУ не менее 30 дБ, коэффициент шума менее 1,9 дБ;

- коэффициент усиления УВЧ не менее 30 дБ, максимальная выходная мощность равна приблизительно 1 мВт;
- коэффициент преобразования КСМ не менее –10 дБ;
- частота среза ФНЧ1, ФНЧ2 составляет приблизительно 10 кГц;
- коэффициент усиления ВУ1, ВУ2 не менее 22 дБ;
- диапазон напряжений входных сигналов АЦП1, АЦП2 – от 1 мВ до 3 В.

При практической реализации ПРМ с приведенными выше параметрами входящих в него устройств предельная чувствительность ПРМ ППУ РБО может составить не хуже –158 дБВт, динамический диапазон входных сигналов – около 70 дБ.

Передатчик ППУ РБО

Функциональная схема ПРД ППУ приведена на рис. 4.

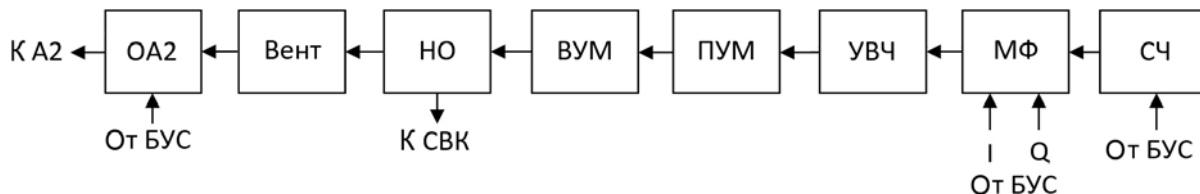


Рис. 4. Функциональная схема ПРД ППУ

Передатчик ППУ РБО построен по типовой многокаскадной схеме с использованием в качестве маломощного задающего автогенератора СЧ, формирующего сетку частот с шагом 2,5 кГц в диапазоне частот $\Delta f_{\text{ПРД}} = f_2 \pm 20 \text{ МГц}$ [6].

В качестве модулирующего устройства в ПРД применен проходной манипулятор фазы $0/\pi$ (МФ), усиление фазоманипулированного сигнала осуществляет многокаскадный усилитель мощности, состоящий из усилителя высокой частоты (УВЧ), предварительного усилителя мощности (ПУМ) и выходного усилителя мощности (ВУМ), выходная мощность каждого из которых составляет соответственно 0,1; 2 и 20 Вт. Для связи ПРД с СВК используется НО с переходным ослаблением приблизительно 30 дБ. Развязку ВУМ от входа передающей антенны А2 обеспечивает ферритовый вентиль (Вент) с прямыми потерями 0,5 дБ, в режиме «Тест-контроль» А2 отключается от ПРД с помощью отключателя антенны ОА2, потери которого в открытом состоянии не превышают 0,3 дБ.

При практической реализации ПРД по схеме, показанной на рис. 4, и с приведенными выше параметрами входящих устройств излучаемая мощность составит не менее 15 Вт.

Система встроенного контроля ППУ

В существующих ретрансляторах система контроля исправности ППУ осуществляется, как правило, с применением имитатора колебаний, формирующего тестовые сигналы с несущей частотой наземной станции [7]. В предлагаемом ППУ тестовые сигналы формируются из сигнала ПРД и вспомогательного гетеродина на основе СЧ.

Функциональная схема СВК ППУ приведена на рис. 5.

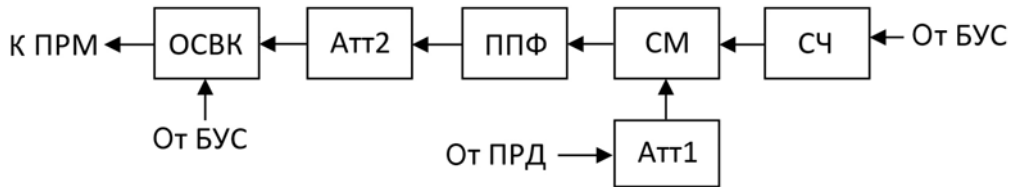


Рис. 5. Функциональная схема СВК ППУ

В состав СВК входят:

- аттенуатор (Атт1), ослабляющий сигнал ПРД на 30 дБ до уровня порядка 10^{-5} Вт, необходимого для линейного режима работы СВК;
- смеситель сдвига (СМ) с коэффициентом преобразования -10 дБ, сдвигающий частоты излучаемых ПРД сигналов в диапазон принимаемых ПРМ частот;
- синтезатор частоты (СЧ), выполняющий функцию перестраиваемого по частоте гетеродина;
- полосно-пропускающий фильтр (ППФ) с полосой пропускания $\Delta f_{\text{ППФ}} = 40$ МГц, предназначенный для фильтрации сигнала промежуточной частоты (ПЧ);
- аттенуатор (Атт2), ослабляющий сигнал ПЧ на 50 дБ до уровня, соответствующего средней части динамического диапазона ПРМ;
- отключатель СВК (ОСВК), отключающий выход СВК от входа ПРМ в рабочем режиме и подключающий его в режиме «Тест-контроль».

Включение–выключение СВК осуществляются по команде «Тест-контроль» с БУС.

Формирование тестового сигнала осуществляется путем гетеродинирования части сигнала ПРД в диапазон частот ПРМ. Так как ширина диапазона частот принимаемых сигналов составляет 14 МГц, а ширина диапазона частот излучаемых сигналов составляет 40 МГц, проверка всей частотной сетки ПРД возможна только при использовании высокостабильного гетеродина СВК с перестройкой частоты (СЧ).

Настройка частоты гетеродина $f_{\text{СЧ}}$ – верхняя по отношению к частоте ПРД, т. е. $f_{\text{ПЧ}} = f_{\text{СЧ}} - f_{\text{ПРД}} = f_{\text{ПРМ}}$.

Уровень сигнала СЧ на гетеродинном входе СМ должен обеспечивать его линейный режим по сигнальному входу, на который подается сигнал с частотой ПРД $f_{\text{ПРД}}$. Управление частотой СЧ в режиме «Тест-контроль» осуществляет БУС.

Заключение

В результате проведенных исследований сформирован технический облик ППУ РБО, построенного на основе приемника с прямым преобразованием частоты и системы СВК с формированием тестовых сигналов из сигналов ПРД и вспомогательного гетеродина. По полученным в результате численных оценок ожидаемым значениям электрических параметров предложенное ППУ РБО не уступает существующим ППУ с приемниками супергетеродинного типа, однако имеет перспективы проектирования с лучшими массогабаритными характеристиками.

Список литературы

1. Кантор Л. Я. Спутниковая связь и вещание: Справочник / Под ред. Л. Я. Кантора. М.: Радио и связь, 1988.
2. Лосев А. А. Перспективные технологии построения бортовых ретрансляторов спутников связи и вещания. Бортовая обработка сигналов // mipt.ru/drec/upload/3b2/losev-site-arpfsytilxq.pdf.
3. Орлов А. Г., Севастьянов Н. Н. Бортовой ретрансляционный комплекс (БРК) спутника связи. Принципы работы, построение, параметры. Томск: Издательский дом Томского государственного университета, 2014.
4. Никольский Б. А. Бортовые радиоэлектронные системы: Учебник. Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2013.
5. Белоусов Д. И., Щаденков Ю. А. Современные методы цифровой обработки сигналов в радиоприемных устройствах // *Специальная техника*. 2011. № 5. С. 32–38.
6. Варакин Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. М.: Радио и связь, 1985.
7. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей // siblec.ru/index.php?dn=html&way.

Repeater Transceiver with Onboard Signal Processing

S. M. Garanin, S. V. Zozulya, I. A. Illarionov, A. L. Kunilov

The results of the development of technical proposals for the creation of the technical appearance of the transceiver of onboard repeater based on the receiver circuit with direct frequency conversion are given. The features of the construction of functional schemes of the components of the transceiver are considered: the receiver, transmitter and built-in control system. The numerical estimates of the expected values of their parameters are given.