



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

*G01S 13/90* (2019.02); *G01S 13/9029* (2019.02); *G01S 13/52* (2019.02); *G01S 7/41* (2019.02)

(21) (22) Заявка: 2018137554, 24.10.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
24.10.2018Дата регистрации:  
13.05.2019

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 24.10.2018

(45) Опубликовано: 13.05.2019 Бюл. № 14

Адрес для переписки:

105005, Москва, 2-ая Бауманская, 5, стр. 1,  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Центр защиты  
интеллектуальной собственности, для  
Халатовой Е.С.

(72) Автор(ы):

Полубехин Александр Иванович (RU),  
Ильин Евгений Михайлович (RU),  
Самарин Олег Фёдорович (RU),  
Савостьянов Владимир Юрьевич (RU),  
Кудашев Владимир Сергеевич (RU),  
Ровкин Михаил Евгеньевич (RU),  
Алексеев Александр Станиславович (RU),  
Руссков Дмитрий Анатольевич (RU),  
Киселёв Сергей Васильевич (RU),  
Марьясин Андрей Владимирович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Московский государственный  
технический университет имени Н.Э.  
Баумана" (национальный исследовательский  
университет)" (МГТУ им. Н.Э. Баумана)  
(RU),  
Акционерное общество  
"Научно-производственная фирма "Микран"  
(АО "НПФ "МИКРАН") (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2621714 C1, 07.06.2017. RU  
2274875 C2, 20.04.2006. RU 2574075 C1,  
10.02.2016. CN 103698751 A, 02.04.2014. US  
5708436 A, 13.01.1998. JP 10170634 A,  
26.06.1998.(54) МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ИНТЕГРИРОВАННАЯ МАЛОГАБАРИТНАЯ  
ДВУХДИАПАЗОННАЯ РАДИОЛОКАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

(57) Реферат:

Полезная модель относится к области радиолокации и предназначена для выполнения широкого круга задач при использовании на пилотируемых и беспилотных летательных аппаратах самолетного и вертолетного типа.

Технической задачей изобретения является расширение функциональных возможностей и точности измерения координат двухдиапазонной малогабаритной многофункциональной

радиолокационной системы в Ka- и X- диапазонах радиоволн.

Указанный результат достигается за счет разработки архитектуры с высокой степенью интеграции программных и аппаратных средств, таких как широкополосная интегрированная двухдиапазонная восьмиканальная волноводно-щелевая антенная решетка (ВЩАР) с установленными на ней двумя циркуляторами и

приемником Ka- и приемником X- диапазонов, интегрированный двухдиапазонный синтезатор частот и синхросигналов управления и бортовая цифровая вычислительная машина (БЦВМ), включающая широкополосный интегрированный цифровой сопроцессор обработки сигналов (ЦСОС). Интегрированное программное обеспечение (ИПО) реализует управление приводом антенны и СЧС, осуществляющим синхронизацию работы передатчиков и приемников двух частотных диапазонов и ЦСОС, производящим предварительную обработку

радиолокационных сигналов. Основная функция ИПО, требующая высокой производительности центрального процессора, заключается в выполнении первичной и вторичной обработок радиолокационных сигналов, включая формирование радиолокационных изображений (РЛИ) подстилающей поверхности, метеообразований, меток движущихся целей и их координат. При этом по выбору оператора могут быть сформированы отдельные РЛИ в каждом частотном диапазоне или одно интегральное РЛИ. 3 ил.

Полезная модель относится к области радиолокации и предназначена для выполнения широкого круга задач в режимах «воздух - воздух» (В-В), «воздух - поверхность» (В-П), «измерение дальности до земли» (ИДЗ), «метео», «радиомониторинг» (РМ) и «маловысотный полет» (МВП) в Ka- диапазоне радиоволн при использовании на летательных аппаратах самолетного и вертолетного типа.

Известны многофункциональные РЛС (см., например, патент RU №2496120 от 30.12.2011 г. МПК G01S 13/90) для летательных аппаратов, предназначенных для обнаружения и наблюдения объектов, картографирования с реальным лучом и синтезированием апертуры антенны, информационного обеспечения МВП, селекции движущихся объектов, оценки метеообстановки, определения зон турбулентности и низковысотных «сдвигов ветра», обзора, обнаружения и сопровождения на «проходе» воздушных целей.

Наиболее близкими к заявляемой является многофункциональная интегрированная РЛС X- и UHF-диапазонов или Ku- и UHF-диапазонов для летательных аппаратов (патент RU №2621714 от 07.06.2017 г. МПК G01S 13/90).

Данные РЛС обеспечивают работу в режимах:

- картографирования с реальным лучом и синтезированием апертуры антенны в разных частотных диапазонах X- (Ки-) и UHF- отдельно (с разрешением до 0.3 м. в Ки-диапазоне) или одновременно с возможностью формирования интегрального РЛИ с разрешением до 7 м.;
- селекции наземных движущихся целей;
- оценки метеообстановки, определения зон турбулентности и низковысотных «сдвигов ветра»;
- информационного обеспечения МВП.

Однако данные РЛС имеют следующие недостатки:

- отсутствуют режимы "В-В", что связано с наличием только двух приемных каналов в каждом диапазоне;
- в режимах "Метео" невозможно корректно разделить сигналы, отраженные от земли и метеообразований, в силу отсутствия разностного канала по наклону;
- в режиме "МВП" недостаточна точность измерения высоты препятствия в силу отсутствия разностного канала по наклону;
- в режиме картографирования с реальным лучом недостаточно разрешение по углу азимута, ограниченное шириной диаграммы направленности антенны;
- режим картографирования с синтезированием апертуры имеет ограничение по разрешению по дальности (не лучше 0,25 м), связанное с достижимой шириной полосы передающего и приемного каналов;
- недостаточная точность обработки заданных углов приводом антенны, связанная с ограничением по скорости передачи управляющей информации по МКИО.

Задачей изобретения является создание многофункциональной интегрированной двухдиапазонной малогабаритной РЛС Ka - и X- диапазонов длин волн с учетом современных тактико-технические требований к бортовым малогабаритным многофункциональным РЛС, а именно увеличение разрешения, обеспечивающего распознавание объектов, а также расширения функций и точности измерения координат объектов.

В основе построения описываемой многофункциональной двухдиапазонной малогабаритной интегрированной РЛС лежит программируемая архитектура системы с высокой степенью интеграции аппаратуры и программного обеспечения.

Решение поставленной задачи достигается тем, что в многофункциональной

интегрированной малогабаритной двухдиапазонной радиолокационной системе для летательных аппаратов радиочастотный модуль (РЧМ), состоящий из двухдиапазонного антенного модуля (АМ) с суммарными и разностными входными и выходными каналами, включающего многоканальные приемники и циркулятор приемозадающего модуля, соединенного через передатчики частотных диапазонов с входами антенного модуля, и бортовую цифровую вычислительную машину (БЦВМ), включающую интегрированный цифровой приемник, центральный процессор с программным обеспечением, при этом приемозадающий модуль включает унифицированный приемник промежуточной частоты и двухдиапазонный интегрированный синтезатор частот и синхросигналов управления (СЧС), состоящий из модуля управления, модуля питания, опорного генератора, генератора опорных частот, генератора частот подставок, модуля формирования сигнала первого гетеродина и сигнала излучения первого диапазона, модуля формирования сигнала первого гетеродина и сигнала излучения второго диапазона, причем модуль управления содержит программируемую логическую интегральную схему (ПЛИС), первый, второй, третий и четвертый цифровые квадратурно-амплитудные модуляторы, первый, второй, третий и четвертый смесители, в ней, что антенный модуль выполняют в виде широкополосной интегрированной двухдиапазонной восьмиканальной волноводно-щелевой решетки (ВЩАР), имеющей дополнительные компенсационные выходы, с установленными на ней четырехканальными приемниками Ка-и Х- диапазонов длин волн и двумя циркуляторами, с приводом, управляемым по высокоскоростному интерфейсу, приемозадающий модуль дополнен вторым унифицированным приемником промежуточной частоты, и выполнен восьмиканальным, при этом оба четырехканальных унифицированных приемников промежуточной частоты выполнены четырехканальными, и двухдиапазонного интегрированного синтезатора частот и синхросигналов управления (СЧС) Ка- и Х- диапазонов, модуль формирования сигнала первого гетеродина  $F_{Г2}$  и сигнала излучения  $F_{02}$  выполнен для Х-диапазона, а модуль формирования сигнала первого гетеродина  $F_{Г1}$  и сигнала излучения  $F_{01}$  выполнен для Ка-диапазона, причем модуль формирования сигнала первого гетеродина  $F_{Г2}$  и сигнала излучения  $F_{02}$  Х-диапазона содержит первый умножитель частоты и пятый смеситель, а модуль формирования сигнала излучения  $F_{01}$  и сигнала первого гетеродина  $F_{Г1}$  Ка-диапазона состоит из второго умножителя частоты и шестого смесителя, передатчики Ка- и Х-диапазонов выполнены в виде малогабаритных твердотельных усилителей мощности, усиливающих сформированные СЧС сигналы излучения, БЦВМ выполнена в виде модуля процессора с использованием четырехъядерного микропроцессора «Эльбрус-4С», а цифровой интегрированный приемник в виде модуля широкополосного цифрового сопроцессора обработки сигналов (ЦСОС), при этом суммарные каналы интегрированной ВЩАР соединены соответственно с «входами-выходами» циркуляторов, а выходы циркуляторов соединены с первыми входами приемника Ка (ПРМ Ка) и приемника Х (ПРМ Х), соответственно, разностные и компенсационные выходы ВЩАР соединены соответственно со вторыми, третьими и четвертыми входами ПРМ Ка и ПРМ Х, выходы сигналов ПРМ Ка подключены соответственно к первому, второму, третьему и четвертому входам первого унифицированного четырехканального приемника ПЧ, соответствующие выходы которого соединены с первым, вторым, третьим и четвертым входами ЦСОС, выходы сигналов ПРМ Х подключены соответственно к первому, второму, третьему и четвертому входам второго унифицированного четырехканального приемника ПЧ, соответствующие выходы

которого соединены с седьмым, восьмым, девятым и десятым входами ЦСОС, «вход-  
 выход» последнего соединен с центральным процессором, входы циркуляторов  
 соединены соответственно с выходом передатчика Ка-диапазона (ПРД Ка) и выходом  
 передатчика X-диапазона (ПРД X), в свою очередь, пятый вход ПРМ X соединен с  
 5 первым выходом ПЛИС СЧС, обозначенным ИЗО2, второй выход ПЛИС СЧС,  
 обозначенный ИЗО2, соединен с первым входом ПРД X, четвертый выход ПЛИС СЧС  
 с обозначением ИЗО1 соединен с первым входом ПРД Ка, третий выход ПЛИС СЧС  
 с обозначением ИЗО1 соединен с пятым входом ПРМ Ка, при этом выходы опорного  
 генератора СЧС подключены к входам генератора опорных частот, генератора частот  
 10 подставок, в свою очередь, первый выход генератора опорных частот  $F_b$  соединен с  
 пятым входом ЦСОС, второй выход генератора опорных частот РПЛИС соединен с  
 первым входом ПЛИС, третий выход генератора опорных частот  $F_{TC}$  соединен с  
 первыми входами первого, второго, третьего и четвертого цифровых квадратурно-  
 амплитудных модуляторов, выходы которых соединены с первыми входами первого,  
 15 второго, третьего и четвертого смесителей соответственно, четвертый выход генератора  
 опорных частот  $F_{Г3}$  подключен к вторым входам первого и третьего смесителей, а  
 также к пятым входам обоих унифицированных приемников промежуточной частоты,  
 первый выход генератора частоты подставки  $F_{nC1}$  подключен ко второму входу второго  
 смесителя, выход последнего через первый умножитель частоты соединен с первым  
 20 входом пятого смесителя модуля формирования сигнала излучения  $F_{02}$  и сигнала первого  
 гетеродина  $F_{Г2}$  X-диапазона и шестым входом ПРМ X -антенного модуля, второй  
 выход генератора частоты подставки  $F_{ПC2}$  подключен ко второму входу четвертого  
 смесителя, выход последнего через второй умножитель частоты соединен с первым  
 25 входом шестого смесителя модуля формирования сигнала излучения  $F_{01}$  и сигнала  
 первого гетеродина  $F_{Г1}$  Ка-диапазона и шестым входом ПРМ Ка антенного модуля,  
 выход пятого смесителя  $F_{02}$  модуля формирования сигнала излучения  $F_{02}$  и сигнала  
 первого гетеродина  $F_{Г2}$  подключен ко второму входу ПРД X, выход шестого смесителя  
 30  $F_{01}$  модуля формирования сигнала излучения  $F_{01}$  и сигнала первого гетеродина  $F_{Г1}$   
 подключен ко второму входу ПРД Ка, пятый, шестой, седьмой и восьмой выходы  
 ПЛИС подключены ко вторым входам первого, второго, третьего и четвертого  
 цифровых квадратурно-амплитудных модуляторов, девятый выход ПЛИС,  
 обозначенный как сигнал тактового интервала ТИ, соединен с шестым входом ЦСОС,  
 35 десятый «вход-выход» ПЛИС СЧС подключен к интерфейсу управления  
 радиочастотным модулем, соединенному с «входом-выходом» центрального процессора,  
 исполняющего программные модули ИПО, и с модулем управления приводом антенного  
 модуля, при этом ЦСОС соединен с центральным процессором по внутреннему  
 интерфейсу БЦВМ. Изобретение поясняется чертежом, где  
 40 - на фиг. 1 изображена многофункциональная интегрированная радиолокационная  
 система Ка- и X-диапазонов,  
 - на фиг. 2 показано выполнение приемозадающего модуля,  
 - на фиг. 3 показана схема выполнения интегрированного двухдиапазонного  
 синтезатора частот и синхросигналов управления.  
 45 На фиг. 1-3 обозначено:  
 1 - Радиочастотный модуль (РЧМ);  
 2 - Антенный модуль (АМ);  
 3 - Интегрированная двухдиапазонная восьмиканальная ВЩАР;

- 4 - Циркулятор 1; (первый циркулятор)  
 5 - Приемник Ka- диапазона радиоволн (ПРМ Ка);  
 6 - Приемник X- диапазона радиоволн (ПРМ X);  
 7 - Циркулятор 2; - (второй циркулятор)  
 5 8 - Привод;  
 9 - Приемозадающий модуль (ПЗМ);  
 10 - Интегрированный двухдиапазонный синтезатор частот и синхросигналов управления (СЧС);  
 11 - Передатчик Ka-диапазона радиоволн (ПРД Ка);  
 10 12 - Передатчик X-диапазона радиоволн (ПРД X);  
 13 - Бортовая цифровая вычислительная машина (БЦВМ);  
 14 - Интегрированный восьмиканальный цифровой сопроцессор обработки сигналов (ЦСОС); (на чертеже обозначен как интегрированный цифровой приемник)  
 15 - Центральный процессор;  
 15 16 - Интегрированное программное обеспечение (ИПО);  
 17 - Первый унифицированный приемник промежуточной частоты (ПРМ ПЧ<sub>1</sub>);  
 18 - Второй унифицированный приемник промежуточной частоты (ПРМ ПЧ<sub>2</sub>);  
 19 - Модуль управления интегрированного двухдиапазонного СЧС  
 20 - Модуль источника питания (Модуль ИП);  
 20 21 - Опорный генератор (ОГ);  
 22 - Генератор опорных частот;  
 23 - Генератор частот подставок;  
 24 - Модуль формирования сигнала излучения  $F_{02}$  и сигнала первого гетеро дина  $F_{Г2}$  X-диапазона;  
 25 25 - Модуль формирования сигнала излучения  $F_{01}$  и сигнала первого гетеро дина  $F_{Г1}$  Ka-диапазона;  
 26 - Программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС);  
 27 - Первый цифровой квадратурно-амплитудный модулятор (ЦКАМОД1);  
 30 28 - Первый смеситель (СМ1);  
 29 - Второй цифровой квадратурно-амплитудный модулятор (ЦКАМОД2);  
 30 - Второй смеситель (СМ2);  
 31 - Третий цифровой квадратурно-амплитудный модулятор (ЦКАМОД3);  
 32 - Третий смеситель (СМ3);  
 35 33 - Четвертый цифровой квадратурно-амплитудный модулятор (ЦКА-МОД4);  
 34 - Четвертый смеситель (СМ4);  
 35 - Пятый смеситель (СМ5);  
 36 - Первый умножитель частоты (УМНЧ1);  
 37 - Шестой смеситель (СМ6);  
 40 38 - Второй умножитель частоты (УМНЧ2);  
 ЗС1 и ЗС2 - зондирующие сигналы Ka- и X-диапазонов;  
 $\Sigma 1$  и  $\Sigma 2$  - суммарные каналы Ka- и X-диапазонов;  
 $\Delta a 1$  и  $\Delta a 2$  - разностные каналы по азимуту Ka- и X-диапазонов;  
 $\Delta n 1$  и  $\Delta n 2$  - разностные каналы по наклону Ka- и X-диапазонов;  
 45 К1 и К2 - компенсационные каналы Ka- и X-диапазонов;  
 ИЗП1 и ИЗП2 - импульсы запуска передатчиков Ka- и X-диапазонов;  
 ИЗО1 и ИЗО2 - импульсы зоны отпирания приемников Ka- и X-диапазонов;  
 $F_{01}$  и  $F_{02}$  - сигналы излучения Ka- и X-диапазонов;

$F_{Г1}$  и  $F_{Г2}$  - сигналы первых гетеродинов Ka- и X-диапазонов;

$F_{Г3}$  - сигнал второго гетеродина;

$F_{В}$  - сигнал дискретизации;

ТИ - сигнал тактового интервала;

$F_{ОП}$  - стабильный опорный сигнал;

$F_{ПЛИС}$  - сигнал частоты тактирования ПЛИС;

ЦКС1, ЦКС2, ЦКС3 и ЦКС4 - цифровые квадратурные сигналы;

$F_{ТС}$  - сигнал частоты тактирования ЦКАМОД1, ЦКАМОД2, ЦКАМОД3 и

ЦКАМОД4;

$F_{ПС1}$ ,  $F_{ПС2}$  - сигналы частот подставок X- и Ka- диапазонов, соответственно;

$F_{ПЧ1}$ ,  $F_{ПЧ2}$  - сигналы низкой промежуточной частоты тракта передачи X- и Ka- диапазонов, соответственно;

$F_{СГ1}$ ,  $F_{СГ3}$  - сигналы субгармоник литерных гетеродинов на низкой промежуточной частоте Ka- и X- диапазонов, соответственно;

$F_{ПЧ3}$ ,  $F_{ПЧ4}$  - сигналы высокой промежуточной частоты тракта передачи X- и Ka- диапазонов, соответственно;

$F_{СГ2}$ ,  $F_{СГ4}$  - сигналы субгармоник литерных гетеродинов на высокой промежуточной частоте Ka- и X-диапазонов, соответственно.

Двухдиапазонная ВЩАР может быть выполнена, например, в виде двухдиапазонной волноводно-щелевой антенной решетке по патенту RU 2591033 (от 04.03.2015 г. МПК H01Q 21/00), содержащей прямоугольные излучающие волноводы, образующие периодическую структуру из чередующихся волноводов нижнего и верхнего диапазона частот и наклонные излучающие щели на узких стенках излучающих волноводов нижнего диапазона, излучающая поверхность волноводов верхнего диапазона расположена ниже излучающей поверхности волноводов нижнего диапазона, а тыльные поверхности волноводов нижнего и верхнего диапазонов расположены в одной плоскости, при этом наклонные излучающие щели нижнего диапазона на узких стенках волноводов нижнего диапазона заходят на широкие стенки этих волноводов, излучающие щели верхнего диапазона выполнены в виде продольных смещенных от оси щелей на широких стенках волноводов верхнего диапазона, а на тыльных поверхностях излучающих волноводов размещены запитывающие волноводы нижнего и верхнего диапазонов, в широких стенках которых выполнены щели связи с излучающими волноводами нижнего и верхнего диапазонов соответственно.

В основе организации описываемой интегрированной двухдиапазонной РЛС лежит программный способ управления режимами и параметрами системы, реализуемый интегрированным программным обеспечением 16 БЦВМ 13, обеспечивающей работу составных частей РЛС с разделением во времени в каждом такте. При этом все внутренние и внешние сигналы СЧС (см. фиг. 3) синхронизированы единым сигналом  $F_{ОП}$ , формируемым опорным генератором ОГ 21, для чего выход ОГ соединен с входом генератора опорных частот 22 и входом генератора частот подставок 23. В свою очередь, генератор опорных частот 22 формирует сигналы тактирования для: ПЛИС 26 - обозначенный  $F_{ПЛИС}$ ; ЦСОС 14 (см. фиг. 1) - обозначенный  $F_{В}$ ; цифровых квадратурно-амплитудных модуляторов (ЦКАМОД1, ЦКАМОД2, ЦКАМОД3, ЦКАМОД4) 27, 29, 31 и 33 - обозначенный  $F_{ТС}$ . Кроме того, генератор опорных частот 22 формирует сигнал третьего гетеродина фиксированной частоты, обозначенный -

$F_{Г3}$ , который поступает на пятые входы первого и второго унифицированных приемников ПЧ 17 и 18 (см. фиг. 2) и на вторые (гетеродинные) входы первого 28 и третьего 32 смесителей (см. фиг. 3). Генератор частот подставок 23 формирует сигналы частот подставок  $F_{ПС1}$  и  $F_{ПС2}$ , которые поступают на вторые (гетеродинные) входы смесителей СМ2 30 и СМ4 34 для переноса сигналов  $F_{СГ1}$  и  $F_{СГ3}$  с низкой промежуточной частоты на высокую и формирования сигналов субгармоник первых гетеродинов  $F_{СГ2}$  и  $F_{СГ4}$ . ПЛИС 26, запрограммированная на выполнение функций цифрового автомата, управляемого от БЦВМ 13, формирует в режиме реального времени цифровые квадратурные сигналы, обозначенные ЦКС1, ЦКС2, ЦКС3 и ЦКС4, которые поступают соответственно на цифровые модулирующие входы первого, второго, третьего и четвертого цифровых квадратурно-амплитудных модуляторов ЦКАМОД1 27, ЦКАМОД2 29, ЦКАМОД3 31, ЦКАМОД4 33, тактируемых сигналом  $F_{ТС}$ . Кроме того, ПЛИС 26 осуществляет взаимную синхронизацию работы приемников, передатчиков и ЦСОС (см. фиг. 3 и фиг. 1), для чего первый выход ПЛИС с обозначением ИЗО2 соединен с пятым входом ПРМ X 6, второй выход ПЛИС с обозначением ИЗО1 соединен с первым входом передатчика X-диапазона (ПРД X) 12, четвертый выход ПЛИС с обозначением ИЗО1 соединен с первым входом передатчика Ka-диапазона (ПРД Ka) 11, третий выход ПЛИС с обозначением ИЗО1 соединен с пятым входом ПРМ Ka 5, пятый, шестой, седьмой и восьмой выходы ПЛИС подключены к первым входам ЦКАМОД1 27, ЦКАМОД2 29, ЦКАМОД3 31, ЦКАМОД4 33, девятый выход ПЛИС с обозначением ТИ соединен с шестым входом ЦСОС 14, десятый «вход-выход» ПЛИС подключен к интерфейсу управления радиочастотным модулем.

При работе СЧС 10 в режиме формирования сигналов X-диапазона радиочастотный сигнал  $F_{ПЧ1}$  на низкой промежуточной частоте с выхода ЦКАМОД1 27 поступает на сигнальный (модулирующий) вход первого смесителя СМ1 28, на гетеродинный вход которого с генератора опорных частот 22 поступает сигнал третьего гетеродина  $F_{Г3}$ , в результате на выходе смесителя СМ1 28 формируется сигнал  $F_{ПЧ3}$  на высокой промежуточной частоте, который поступает на вход модуляции пятого смесителя СМ5 35, на гетеродинный вход которого поступает сигнал литерного гетеродина  $F_{Г2}$ , в результате чего формируется сигнал излучения  $F_{02}$ . В свою очередь, ЦКАМОД2 29 формирует сигнал субгармоники литерного гетеродина X-диапазона  $F_{ep}$  на низкой промежуточной частоте, который поступает на вход модуляции второго смесителя СМ2 30, на гетеродинный вход которого подается первый сигнал частоты подставки  $F_{ПС1}$ , формируемый генератором частот подставок 23. Смеситель СМ2 30 переносит сигнал  $F_{СГ3}$  с низкой промежуточной частоты на высокую, формируя сигнал  $F_{СГ4}$ , который поступает на вход первого умножителя частоты (УМНЧ1) 36, формирующего сигнал  $F_{Г2}$ , который поступает на гетеродинный вход смесителя СМ5 35 и на шестой вход приемника ПРМ X 6 (см. фиг. 1, 2)

При работе СЧС 10 в режиме формирования сигналов Ka-диапазона радиочастотный сигнал  $F_{ПЧ2}$  на низкой промежуточной частоте с выхода ЦКАМОД3 31 поступает на сигнальный (модулирующий) вход третьего смесителя СМ3 32, на гетеродинный вход которого с генератора опорных частот 22 поступает сигнал третьего гетеродина  $F_{Г3}$ , в результате на выходе смесителя СМ3 32 формируется сигнал  $F_{ПЧ4}$  на высокой промежуточной частоте, который поступает на сигнальный вход (модуляции) шестого

смесителя СМ6 37, на гетеродинный вход которого поступает сигнал литерного гетеродина  $F_{Г1}$ , в результате чего формируется сигнал излучения  $F_{01}$ .

В свою очередь, ЦКАМОД4 33 формирует сигнал субгармоники литерного гетеродина Ка-диапазона  $F_{СГ1}$  на низкой промежуточной частоте, который поступает на вход модуляции четвертого смесителя СМ4 34, на гетеродинный вход которого подается второй сигнал частоты подставки  $F_{ПС2}$ , формируемый генератором частот подставок 23. Смеситель СМ4 34 переносит сигнал  $F_{СГ1}$  с низкой промежуточной частоты на высокую, формируя сигнал  $F_{СГ2}$ , который поступает на вход второго умножителя частоты (УМНЧ2) 38, формирующего сигнал  $F_{Г1}$ , который поступает на гетеродинный вход смесителя СМ6 37 и на шестой вход ПРМ Ка 5 (см. фиг. 1, 2).

Функционирование двухдиапазонной РЛС выполняется следующим образом (см. фиг. 1). В каждом тактовом интервале (ТИ) работы РЛС в центральном процессоре 15 БЦВМ 13 под управлением НПО 16 вычисляются параметры, используемые для управления в последующем такте модулями СЧС 10, ЦСОС 14 и модулем управления приводом 8, для чего «вход-выход» БЦВМ 13 соединен по интерфейсу управления РЧМ с СЧС 10 и модулем управления приводом 8, а «вход-выход» центрального процессора 15 соединен с ЦСОС 14. В соответствии с заданными параметрами управления интегрированный СЧС 10 формирует сигналы излучения  $F_{01}$  и  $F_{02}$ , сигналы первых гетеродинов  $F_{Г1}$  и  $F_{Г2}$  и сигналы синхронизации работы передатчиков ИЗП1 и ИЗП2, приемников ИЗО1 и ИЗО2 и ЦСОС ТИ и  $F_{В}$ . При этом выход СЧС 10, обозначенный  $F_{01}$ , соединен со вторым входом ПРД Ка 11, выход СЧС, обозначенный  $F_{02}$ , соединен со вторым входом ПРД Х 12, выход СЧС, обозначенный  $F_{Г1}$ , соединен с шестым входом ПРМ Ка 5, выход, обозначенный  $F_{Г2}$ , соединен с шестым входом ПРМ Х 6, выход, обозначенный ИЗП1, соединен с первым входом ПРД Ка 11, выход, обозначенный ИЗП2, соединен с первым входом ПРД Х 12, выход, обозначенный ИЗО1, соединен с пятым входом ПРМ Ка 5, выход, обозначенный ИЗО2, соединен с пятым входом ПРМ Х 6, а выходы СЧС, обозначенные  $F_{В}$  и ТИ, соединены с пятым и шестым входами ЦСОС 14.

Излучение зондирующих сигналов ЗС1 и ЗС2 (см. фиг. 2) производится в соответствии с временной диаграммой по суммарным  $\Sigma 1$  и  $\Sigma 2$  каналам интегрированной ВЩАР 3, для чего выход передатчика (ПРД Ка) 11 соединен с входом циркулятора 4, «вход-выход» которого соединен с суммарным каналом ВЩАР Ка-диапазона, а выход передатчика (ПРД Х) 12 соединен с циркулятором 7, «вход-выход» которого соединен с суммарным каналом ВЩАР Х-диапазона.

Прием отраженных зондирующих сигналов Ка- и Х-диапазонов осуществляется с помощью интегрированной ВЩАР по суммарным ( $\Sigma 1$  и  $\Sigma 2$ ), разностным по азимуту ( $\Delta a 1$  и  $\Delta a 2$ ) и наклону ( $\Delta n 1$  и  $\Delta n 2$ ) и компенсационным (К1 и К2) каналам. Для передачи принимаемого ВЩАР сигнала по суммарному каналу ( $\Sigma 1$ ) выход циркулятора 4 соединен с первым входом ПРМ Ка 5. Для передачи принимаемых разностных по азимуту  $\Delta a 1$  и наклону  $\Delta n 1$  и компенсационного К1 сигналов второй, третий и четвертый выходы ВЩАР Ка-диапазона соединены со вторым, третьим и четвертым входами ПРМ Ка 5.

Для передачи принимаемого ВЩАР сигнала по суммарному каналу ( $\Sigma 2$ ) выход циркулятора 7 соединен с первым входом ПРМ Х 6. Для передачи принимаемых разностных по азимуту  $\Delta a 2$ , наклону  $\Delta n 2$  и компенсационного К2 сигналов второй,

третий и четвертый выходы ВЩАР X-диапазона соединены со вторым, третьим и четвертым входами ПРМ X 6.

Выходы сигналов ПРМ Ка 5 на первой промежуточной частоте подключены соответственно к первому, второму, третьему и четвертому входам первого унифицированного четырехканального приемника ПЧ 17 (см. фиг. 3), соответствующие выходы которого соединены с первым, вторым, третьим и четвертым входами ЦСОС 14 (см. фиг. 2), а выходы сигналов ПРМ X 6 на первой промежуточной частоте подключены соответственно к первому, второму, третьему и четвертому входам второго унифицированного четырехканального приемника ПЧ 18, соответствующие выходы которого соединены с седьмым, восьмым, девятым и десятым входами ЦСОС 14, где производится оцифровка и предварительная обработка радиолокационных сигналов, цифровые массивы которых пересылаются по внутренней магистрали БЦВМ 13 в центральный процессор 15, в котором выполняется первичная и вторичная обработка информации соответствующими программными модулями ИПО 16. При этом сформированное радиолокационное изображение передается потребителю по внешнему интерфейсу.

Таким образом, за счет использования программируемой архитектуры МБРЛС с высокой степенью интеграции программных и аппаратных средств решается задача предварительной, первичной и вторичной обработки сигналов Ка- и X-диапазонов, включая формирование радиолокационных изображений (РЛИ) поверхности земли, меток движущихся целей и их координат. При этом по выбору оператора могут быть сформированы отдельные РЛИ в каждом частотном диапазоне или интегральные РЛИ в двух диапазонах.

#### (57) Формула полезной модели

Многофункциональная интегрированная малогабаритная двухдиапазонная радиолокационная система для летательных аппаратов, содержащая радиочастотный модуль, состоящий из двухдиапазонного антенного модуля с суммарными и разностными входными и выходными каналами, включающего многоканальные приемники и циркулятор приемозадающего модуля, соединенного через передатчики частотных диапазонов с входами антенного модуля, и бортовую цифровую вычислительную машину (БЦВМ), включающую интегрированный цифровой приемник, центральный процессор с программным обеспечением, при этом приемозадающий модуль включает унифицированный приемник промежуточной частоты и двухдиапазонный интегрированный синтезатор частот и синхросигналов управления (СЧС), состоящий из модуля управления, модуля питания, опорного генератора, генератора опорных частот, генератора частот подставок, модуля формирования сигнала первого гетеродина и сигнала излучения первого диапазона и модуля формирования сигнала первого гетеродина и сигнала излучения второго диапазона, при этом выходы опорного генератора СЧС подключены к входам генератора опорных частот, генератора частот подставок, модуль управления содержит программируемую логическую интегральную схему (ПЛИС), первый, второй, третий и четвертый цифровые квадратурно-амплитудные модуляторы, первый, второй, третий и четвертый смесители, отличающаяся тем, что антенный модуль выполнен в виде широкополосной интегрированной двухдиапазонной восьмиканальной волноводно-щелевой решетки (ВЩАР), имеющей дополнительные компенсационные выходы, с установленными на ней четырехканальными приемниками Ка- и X-диапазонов длин волн и двумя циркуляторами, с приводом, управляемым по высокоскоростному интерфейсу,

приемозадающий модуль дополнен вторым унифицированным приемником промежуточной частоты и выполнен восьмиканальным, при этом оба четырехканальных унифицированных приемника промежуточной частоты выполнены четырехканальными, и двухдиапазонного интегрированного синтезатора частот и синхросигналов управления (СЧС) Ка- и Х-диапазонов, модуль формирования сигнала первого гетеродина  $F_{Г2}$  и сигнала излучения  $F_{02}$  выполнен для Х-диапазона, а модуль формирования сигнала первого гетеродина  $F_{Г1}$  и сигнала излучения  $F_{01}$  выполнен для Ка-диапазона, причем модуль формирования сигнала первого гетеродина  $F_{Г2}$  и сигнала излучения  $F_{02}$  Х-диапазона содержит первый умножитель частоты и пятый смеситель, а модуль формирования сигнала излучения  $F_{01}$  и сигнала первого гетеродина  $F_{Г1}$  Ка-диапазона состоит из второго умножителя частоты и шестого смесителя, передатчики Ка- и Х-диапазонов выполнены в виде малогабаритных твердотельных усилителей мощности, усиливающих сформированные СЧС сигналы излучения, БЦВМ выполнена в виде модуля процессора с использованием четырехъядерного микропроцессора «Эльбрус-4С», а цифровой интегрированный приемник в виде модуля широкополосного цифрового сопроцессора обработки сигналов (ЦСОС), при этом суммарные каналы интегрированной ВЦАР соединены соответственно с «входами-выходами» циркуляторов, а выходы циркуляторов соединены с первыми входами приемника Ка (ПРМ Ка) и приемника Х (ПРМ Х), соответственно, разностные и компенсационные выходы ВЦАР соединены соответственно со вторыми, третьими и четвертыми входами приемника Ка и приемника Х, выходы сигналов приемника Ка подключены соответственно к первому, второму, третьему и четвертому входам первого унифицированного четырехканального приемника промежуточной частоты, соответствующие выходы которого соединены с первым, вторым, третьим и четвертым входами ЦСОС, выходы сигналов приемника Х диапазона подключены соответственно к первому, второму, третьему и четвертому входам второго унифицированного четырехканального приемника промежуточной частоты, соответствующие выходы которого соединены с седьмым, восьмым, девятым и десятым входами ЦСОС, «вход-выход» последнего соединен с центральным процессором, входы циркуляторов соединены соответственно с выходом передатчика Ка-диапазона (ПРД Ка) и выходом передатчика Х-диапазона (ПРД Х), в свою очередь, пятый вход приемника Х диапазона соединен с первым выходом ПЛИС СЧС, обозначенным ИЗО2, второй выход ПЛИС СЧС, обозначенный ИЗП2, соединен с первым входом передатчика Х диапазона, четвертый выход ПЛИС СЧС с обозначением ИЗП1 соединен с первым входом передатчика Ка-диапазона, третий выход ПЛИС СЧС с обозначением ИЗО1 соединен с пятым входом приемника Ка диапазона, при этом первый выход генератора опорных частот  $F_B$  соединен с пятым входом ЦСОС, второй выход генератора опорных частот  $F_{ПЛИС}$  соединен с первым входом ПЛИС, третий выход генератора опорных частот  $F_{ТС}$  соединен с первыми входами первого, второго, третьего и четвертого цифровых квадратурно-амплитудных модуляторов, выходы которых соединены с первыми входами первого, второго, третьего и четвертого смесителей соответственно, четвертый выход генератора опорных частот  $F_{Г3}$  подключен к вторым входам первого и третьего смесителей, а также к пятым входам обоих унифицированных приемников промежуточной частоты, первый выход генератора частоты подставки  $F_{ПС1}$  подключен ко второму входу второго смесителя, выход последнего через первый умножитель частоты соединен с первым входом пятого смесителя модуля формирования сигнала

излучения  $F_{02}$  и сигнала первого гетеродина  $F_{Г2}$  X-диапазона и шестым входом ПРМ X антенного модуля, второй выход генератора частоты подставки  $F_{ГС2}$  подключен ко второму входу четвертого смесителя, выход последнего через второй умножитель частоты соединен с первым входом шестого смесителя модуля формирования сигнала излучения  $F_{01}$  и сигнала первого гетеродина  $F_{Г1}$  Ka-диапазона и шестым входом ПРМ Ka антенного модуля, выход пятого смесителя  $F_{02}$  модуля формирования сигнала излучения  $F_{02}$  и сигнала первого гетеродина  $F_{Г2}$  подключен ко второму входу ПРД X, выход шестого смесителя  $F_{01}$  модуля формирования сигнала излучения  $F_{01}$  и сигнала первого гетеродина  $F_{Г1}$  подключен ко второму входу ПРД Ka, пятый, шестой, седьмой и восьмой выходы ПЛИС подключены ко вторым входам первого, второго, третьего и четвертого цифровых квадратурно-амплитудных модуляторов, девятый выход ПЛИС, обозначенный как сигнал тактового интервала ТИ, соединен с шестым входом ЦСОС, десятый «вход-выход» ПЛИС СЧС подключен к интерфейсу управления радиочастотным модулем, соединенному с «входом-выходом» центрального процессора, исполняющего программные модули интегрированного программного обеспечения (ИПО), и с модулем управления приводом антенного модуля, при этом ЦСОС соединен с центральным процессором по внутреннему интерфейсу БЦВМ.

20

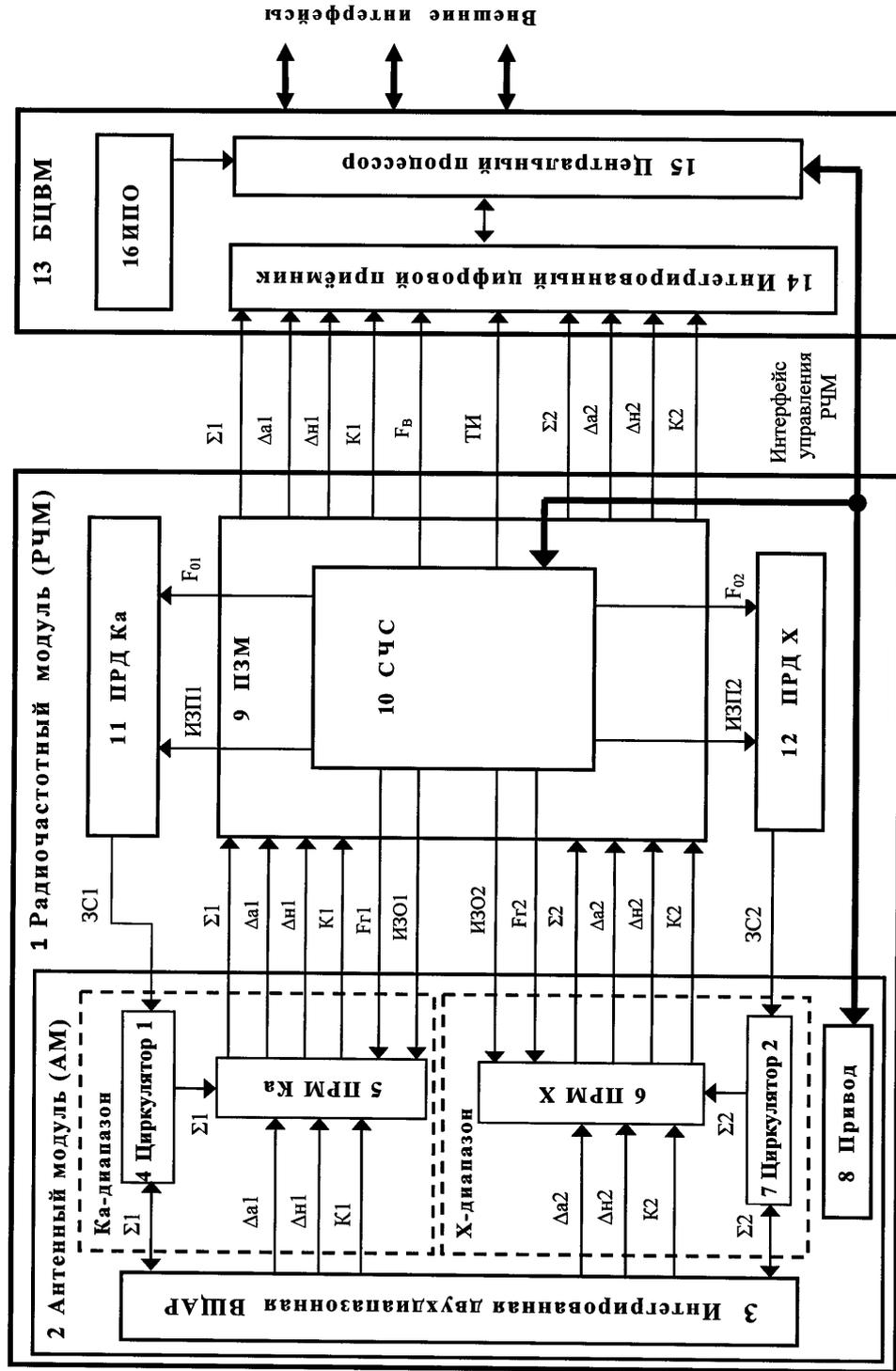
25

30

35

40

45



Фиг. 1- Интегрированная радиолокационная система Ka- и X-диапазонов



Фиг. 2 – Приёмозадающий модуль

