



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2014150149/07, 10.12.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
10.12.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 10.12.2014

(43) Дата публикации заявки: 10.07.2016 Бюл. № 19

(45) Опубликовано: 20.12.2016 Бюл. № 35

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2486538 C2, 27.06.2013. RU 2347238 C1, 20.02.2009. RU 2233463 C1, 27.07.2004. RU 2001117385 A, 27.05.2003. US 6624780 B1, 23.09.2003. US 7123182 B1, 17.10.2006. KR 1386636 B1, 18.04.2014.

Адрес для переписки:

394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков,  
54А, ВУНЦ ВВС "ВВА", Центр ОНР и ПНПК

(72) Автор(ы):

**Лихачев Владимир Павлович (RU),  
Семенов Владимир Владимирович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Федеральное государственное казенное  
военное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
"Военный учебно-научный центр Военно-  
воздушных сил "Военно-воздушная академия  
имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А.  
Гагарина" (г. Воронеж) Министерства  
обороны Российской Федерации (RU)**

**RU 2 605 205 C2**

**(54) УСТРОЙСТВО ИСКАЖЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к области радиоподавления радиолокационных станций (РЛС). Достижимый технический результат - снижение погрешности воспроизведения линейно-частотно-модулированных (ЛЧМ) сигналов путем учета доплеровского смещения частоты принимаемого ЛЧМ сигнала, обусловленного взаимным перемещением носителя РЛС и (или) носителя устройства искажения радиолокационного изображения (РЛИз). Указанный результат достигается тем, что в устройство искажения РЛИз, состоящее из вычислительного устройства и N-канальной приемной и передающей антенных решеток, где каждый из N каналов содержит аналого-цифровой преобразователь, цифро-аналоговый

преобразователь и усилитель, в каждый из N каналов введены фильтр высоких частот, ответвитель, линия задержки, смеситель, фильтр низких частот и цифровой синтезатор, при этом n-й выход, где n=1, 2, ..., N, приемной антенной решетки через фильтр высоких частот соединен с ответвителем, первый выход которого соединен со вторым входом смесителя, а второй выход соединен со входом линии задержки, выход которой соединен с первым входом смесителя, выход которого через фильтр низких частот, аналого-цифровой преобразователь, вычислительное устройство, цифровой синтезатор, цифро-аналоговый преобразователь и усилитель соединен с n-м входом передающей антенной решетки. 2 ил.

**RU 2 605 205 C2**



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2014150149/07, 10.12.2014

(24) Effective date for property rights:  
10.12.2014

Priority:

(22) Date of filing: 10.12.2014

(43) Application published: 10.07.2016 Bull. № 19

(45) Date of publication: 20.12.2016 Bull. № 35

Mail address:

394064, g. Voronezh, ul. Starykh Bolshevikov, 54A,  
VUNTS VVS "VVA", TSentr ONR i PNPk

(72) Inventor(s):

**Likhachev Vladimir Pavlovich (RU),  
Semenov Vladimir Vladimirovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe kazennoe voennoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
professionalnogo obrazovaniya "Voennyj  
uchebno-nauchnyj tsentr Voенno-vozdushnykh  
sil "Voенno-vozdushnaja akademiya imeni  
professora N.E. ZHukovskogo i JU.A. Gagarina"  
(g. Voronezh) Ministerstva oborony Rossijskoj  
Federatsii (RU)**(54) **DEVICE FOR DISTORTION OF RADAR IMAGE**

(57) Abstract:

FIELD: radar ranging and radio navigation.

SUBSTANCE: invention relates to radio suppression of radar stations (RS). In distortion device radar image (RLIz) consisting of computing device and N-channel receiving and transmitting antenna arrays, wherein each of N channels includes analogue-to-digital converter, digital-to-analogue converter and amplifier, in each of N channels includes filter of high frequencies, coupler, delay line, mixer, low-pass filter and digital synthesizer, wherein n-th output, where  $n = 1, 2, \dots, N$ , receiving antenna array through high-frequency filter is connected to coupler, which first output is connected to second input of mixer, and second output is

connected to input of delay line, which output is connected to first input of mixer with its output through low-pass filter, analogue-to-digital converter, computing device, digital synthesizer, digital-to-analogue converter and amplifier are connected to n-th input of transmitting antenna array.

EFFECT: reduced error of reproduction of linear frequency modulated chirp signals by taking into account Doppler frequency shift of received LFM signal caused by mutual displacement of RS carrier and (or) carrier of RLIZ distortion device.

1 cl, 2 dwg

Изобретение относится к области радиолокационных станций (РЛС) с синтезированной апертурой антенны (РСА), в частности, может быть использовано при разработке транспондеров РСА или ретрансляторов сигналов РСА.

Известны устройства, искажающие радиолокационное изображение (РЛИз) объекта - уголкового отражатель [Вакин С.А., Шустов Л.Н. Основы радиопротиводействия и радиотехнической разведки. - М.: Сов. Радио, 1968, с. 321-326; Палий А.И. Радиоэлектронная борьба. - М.: Воениздат, 1989, с. 90-99] и линза Люнеберга. Уголкового отражатель и линза Люнеберга переотражают сигнал на рабочей частоте РЛС и обеспечивают искажение РЛИз объекта (за счет увеличения его интенсивности). Причем искажение РЛИз происходит только в случае совмещения в пространстве уголкового отражателя и линзы Люнеберга с объектом.

Наиболее близким по технической сущности (прототипом к предполагаемому изобретению) является устройство искажения РЛИз [Лихачев В.П., Купряшкин И.Ф., Семенов В.В., Нагорный М.С., Федотов А.А. Устройство искажения радиолокационного изображения объекта. - Патент RU 2486538 от 27.06.2013 г.], состоящее из N-канальной приемной и передающей антенных решеток, каждый из N каналов содержит последовательно соединенные элемент приемной антенной решетки, полосовой фильтр, фазовые детекторы, аналого-цифровые преобразователи, вычислительное устройство, цифро-аналоговые преобразователи, смеситель, управляемый фазовращатель, управляемый усилитель, элемент передающей антенной решетки а также опорный генератор, фазовращатель, блок ввода значений эффективной площади рассеяния объекта и запоминающее устройство. Устройство формирует помехи для РСА, искажающие формируемые ими РЛИз объектов и уменьшающие вероятность их правильного обнаружения, при условии отсутствия информации о параметрах движения носителя РСА и отдельного местоположения ретранслятора и объекта.

Недостатком устройства-прототипа является погрешность воспроизведения ЛЧМ сигналов при функционировании в условиях быстрого взаимного перемещения носителя РЛС (например, космического аппарата (КА) с РЛС) и (или) носителя устройства искажения РЛИз.

Технический результат, на достижение которого направлено заявляемое изобретение, выражается в снижении погрешности воспроизведения ЛЧМ сигналов путем учета доплеровского смещения частоты принимаемого ЛЧМ сигнала, обусловленного взаимным перемещением носителя РЛС и (или) носителя устройства искажения РЛИз.

Указанный технический результат достигается тем, что в устройство искажения РЛИз, состоящее из вычислительного устройства и N-канальной приемной и передающей антенных решеток, где каждый из N каналов содержит аналого-цифровой преобразователь, цифро-аналоговый преобразователь и усилитель, в каждый из N каналов дополнительно введены фильтр высоких частот, ответвитель, линия задержки, смеситель, фильтр низких частот и цифровой синтезатор, при этом n-й выход, где  $n=1, 2, \dots, N$ , приемной антенной решетки через фильтр высоких частот соединен с ответвителем, первый выход которого соединен со вторым входом смесителя, а второй выход соединен со входом линии задержки, выход которой соединен с первым входом смесителя, выход которого через фильтр низких частот, аналого-цифровой преобразователь, вычислительное устройство, цифровой синтезатор, цифро-аналоговый преобразователь и усилитель соединен с n-м входом передающей антенной решетки.

Сущность изобретения заключается в формировании в ответ на каждый принятый зондирующий ЛЧМ импульс его цифровой копии с учетом доплеровского смещения частоты, обусловленного взаимным перемещением носителя РЛС и (или) носителя

устройства искажения РЛИз, и ее переизлучении в направлении РЛС. Это позволяет исказить РЛИз объекта независимо от местоположения и направления движения носителя устройства искажения РЛИз.

Задача, решение которой обеспечивает заявляемое устройство, состоит в ретрансляции непрерывных и импульсных ЛЧМ сигналов, обеспечивающих формирование в РСА ложных РЛИз объектов.

Структурная схема предлагаемого устройства искажения РЛИз приведена на фиг. 1, где обозначено: 1 - приемная антенная решетка, 2 - фильтр высоких частот (ФВЧ), 3 - ответвитель, 4 - линия задержки (ЛЗ), 5 - смеситель, 6 - фильтр низких частот (ФНЧ), 7 - аналого-цифровой преобразователь (АЦП), 8 - вычислительное устройство (ВЧУ), 9 - цифровой синтезатор, 10 - цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), 11 - усилитель, 12 - передающая антенная решетка.

Назначение элементов - приемная антенная решетка 1, ФВЧ 2, ответвитель 3, ЛЗ 4, смеситель 5, ФНЧ 6, АЦП 7, ЦАП 10, усилитель 11 и передающая антенная решетка 12 - ясны из их названия.

ВЧУ 8 предназначено для выполнения необходимых арифметических операций вычисления параметров принимаемых ЛЧМ сигналов в цифровом виде и выдаче соответствующей кодовой последовательности в цифровой синтезатор 9. ВЧУ 8 может быть реализовано, например, с использованием сигнального процессора ADSP-2181 [Вальпа О.Д. Разработка устройств на основе цифровых сигнальных процессоров фирмы Analog Devices с использованием Visual DSP++. - М.: Горячая линия - Телеком, 2007. - 270 с.].

Цифровой синтезатор 9 предназначен для формирования ЛЧМ сигнала с параметрами, рассчитанными в ВЧУ 8. Он может быть реализован на основе микросхемы прямого цифрового синтеза DDS [Analog Devices. RF 1C Selection Guide, с. 12].

Устройство работает следующим образом. Зондирующий ЛЧМ сигнал РЛС на частоте  $f_0$  поступает на N элементов приемной антенной решетки 1, где осуществляется его преобразование в электрический сигнал. Выходные сигналы элементов приемной антенной решетки 1 через N-й ФВЧ 2, которые настроены на частоту  $f_0$ , и N-й ответвитель 3 подаются на вход N-й ЛЗ 4 и второй вход N-го смесителя 5.

С выхода N-й ЛЗ 4 задержанная на время  $\tau_z$  копия принятого ЛЧМ сигнала поступает на первый вход N-го смесителя 5, где происходит перемножение с ЛЧМ сигналом, поступившим с выхода N-го ответвителя 3.

С выхода N-го смесителя 5 ЛЧМ сигнал подается на вход N-го ФНЧ 6, где производится фильтрация его низкочастотной составляющей.

С выхода N-го ФНЧ 6 НЧ ЛЧМ сигнал поступает на вход N-го АЦП 7, который преобразует его в цифровую форму.

Оцифрованный НЧ сигнал поступает на вход ВЧУ 8, в котором осуществляется:

- измерение разностной частоты  $f_p(n)$  НЧ ЛЧМ сигнала;
- определение длительности  $\tau_u$  ЛЧМ сигнала;
- определение периода следования  $T_u$  ЛЧМ сигнала;
- вычисление радиальной скорости движения носителя РЛС  $V_{r_{\text{РЛС}}} (nT_u)$ ;
- вычисление ширины спектра  $\Delta f_c$  ЛЧМ сигнала.

Измерение разностной частоты  $f_p(n)$  НЧ ЛЧМ сигнала производится после преобразования Фурье и получения его спектра.

Определение длительности  $\tau_u$  и периода следования  $T_u$  ЛЧМ сигнала производится с использованием метода генератор-пересчетной схемы [Смирнов Ю.А. Радиотехническая разведка. - М.: Воениздат, 2001. - с. 108-111].

Радиальная скорость движения носителя РЛС  $V_{r_{рлс}}(nT_u)$  вычисляется следующим образом:

$$V_{r_{рлс}}(nT_u) = \frac{(\mathbf{p}_{рлс}, \mathbf{V}_{рлс})}{|\mathbf{p}_{рлс}|}, \quad (1)$$

где  $\mathbf{p}_{рлс}$  - радиус-вектор носителя РЛС,  $\mathbf{V}_{рлс}$  - вектор скорости носителя РЛС,  $|\mathbf{p}_{рлс}|$  - дистанция между носителем РЛС и устройством искажения РЛИз.

Модуль вектора скорости движения носителя РЛС  $|\mathbf{V}_{рлс}|$  можно получить, например, на основе исходных данных, находящихся в орбитальной модели SGP4 [Hoots F.R., Roehrich R.L. SpaceTrack Report №3, 1980. - с. 10-21]. SGP4 позволяет осуществить предсказание орбитального положения КА и положения КА относительно носителя устройства искажения РЛИз на текущий момент времени. Исходные данные  $\Omega$   $\{\theta, \xi, a, e, \varpi, t_0\}$ , где  $\theta$  - наклонение орбиты,  $\xi$  - прямое восхождение восходящего узла,  $a$  - большая полуось орбиты,  $e$  - эксцентриситет орбиты,  $\varpi$  - угловое расстояние перигея,  $t_0$  - время прохождения КА через восходящий узел, поступают на N+2 вход ВЧУ 8.

Ширина спектра сигнала  $\Delta f_c$  вычисляется следующим образом:

$$\Delta f_c = \frac{f_p(n)\tau_u}{\tau_z} \mp \frac{(V_{r_{рлс}}(nT_u) + V_{ry}(nT_u))\tau_z f_0}{2\pi c T_u}, \quad (2)$$

где  $c$  - скорость света,  $V_{ry}(nT_u)$  - значение радиальной скорости движения носителя устройства искажения РЛИз.

Значение радиальной скорости движения носителя устройства искажения РЛИз  $V_{ry}(nT_u)$  можно получить, например, из его инерциальной навигационной системы (ИНС) [П.В. Бромберг. Теория инерциальных систем навигации. - М.: Наука, 1979. - с. 71-122]. Значение  $V_{ry}(nT_u)$  поступает на N+1 вход ВЧУ 8.

Расчет переменных в ВЧУ может выполняться, например, в сигнальном процессоре ADSP-2181 путем реализации типовых ассемблерных процедур среды разработки Visual DSP++ (суммирования, вычитания, умножения, деления и вычисления модуля) [Вальпа О.Д. Разработка устройств на основе цифровых сигнальных процессоров фирмы Analog Devices с использованием Visual DSP++. - М.: Горячая линия - Телеком, 2007, стр. 266]. Блок-схема алгоритма вычисления согласно выражений (1) и (2) представлена на фиг. 2, где 13 - умножитель, 14 - блок деления, 15 - сумматор и 16 - блок вычисления модуля.

С выхода ВЧУ 8 кодовая последовательность значений  $\Delta f_c$ ,  $f_0$ ,  $\tau_u$ ,  $T_u$  поступает на вход N-го цифрового синтезатора 9, где осуществляется формирование ЛЧМ сигнала с заданными параметрами в цифровом виде [Analog Devices. Data Sheet AD9910. - 64 с.].

С выхода N-го цифрового синтезатора 9 сформированный ЛЧМ сигнал подается на вход N-го ЦАП 10, где преобразуется в аналоговый сигнал, который после усиления излучается передающей антенной решеткой 12 в направлении РЛС.

Предложенное устройство искажения РЛИз сигналов позволяет учесть доплеровское

смещение частоты принимаемого ЛЧМ сигнала, обусловленного взаимным перемещением носителя РЛС и (или) носителя устройства искажения РЛИз, и может ретранслировать как импульсные, так и непрерывные ЛЧМ сигналы.

Предложенное техническое решение является новым, поскольку из общедоступных сведений неизвестны устройства искажения РЛИз, позволяющие определять их параметры при наличии доплеровского смещения частоты, обусловленного взаимным перемещением носителя РЛС и (или) носителя устройства искажения РЛИз.

Предлагаемое техническое решение практически применимо, так как для его реализации могут быть использованы стандартные радиоэлектронные устройства и средства.

#### Формула изобретения

Устройство искажения радиолокационного изображения, состоящее из вычислительного устройства, предназначенного для вычисления параметров принимаемого линейно-частотно-модулированного (ЛЧМ) сигнала в виде соответствующей кодовой последовательности в цифровом виде и N-канальной приемной и передающей антенных решеток, где каждый из N каналов содержит аналого-цифровой преобразователь, цифро-аналоговый преобразователь и усилитель, отличающееся тем, что в каждый из N каналов дополнительно введены фильтр высоких частот, ответвитель, линия задержки, смеситель, фильтр низких частот и цифровой синтезатор, предназначенный для формирования искаженного ЛЧМ сигнала с заданными параметрами, при этом n-й выход, где  $n=1, 2, \dots, N$ , приемной антенной решетки через фильтр высоких частот соединен с ответвителем, первый выход которого соединен со вторым входом смесителя, а второй выход соединен со входом линии задержки, выход которой соединен с первым входом смесителя, выход которого через фильтр низких частот, аналого-цифровой преобразователь, вычислительное устройство, цифровой синтезатор, цифро-аналоговый преобразователь и усилитель соединен с n-м входом передающей антенной решетки.

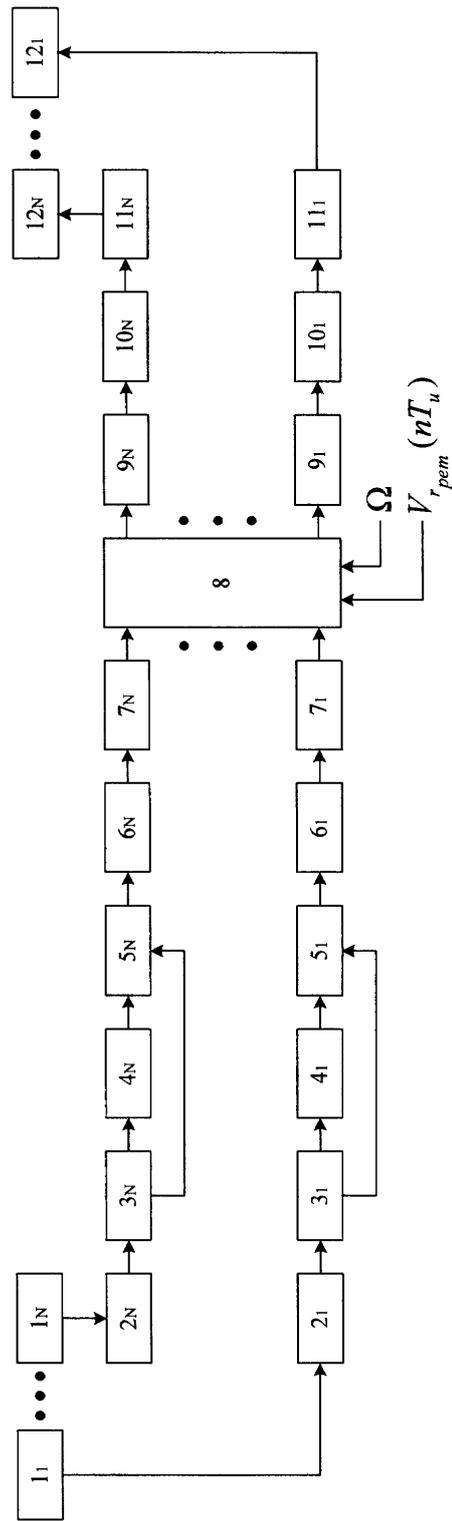
30

35

40

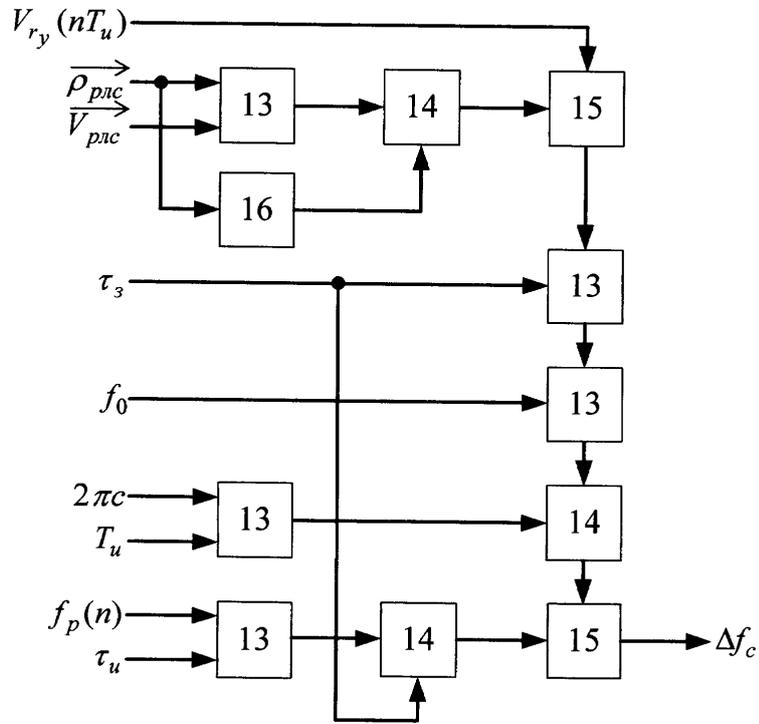
45

Устройство искажения радиолокационного изображения



Фиг. 1

Устройство искажения радиолокационного изображения



Фиг. 2