



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2014130575/07, 22.07.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
22.07.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 22.07.2014

(45) Опубликовано: 10.08.2015 Бюл. № 22

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 113018 U1, 27.01.2012. RU 58727 U1, 27.11.2006. RU 94025062 A1, 20.05.1996. RU 2518373 C1, 10.06.2014. US 5387918 A, 07.02.1995. EP 1312891 A2, 21.05.2003. WO 2006061913 A1, 15.06.2006. US 6731236 B1, 04.05.2004

Адрес для переписки:

197376, Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, 5,  
СПГЭТУ, патентный отдел, К.И. Берковской

(72) Автор(ы):

Кутузов Владимир Михайлович (RU),  
Ковалев Дмитрий Александрович (RU)

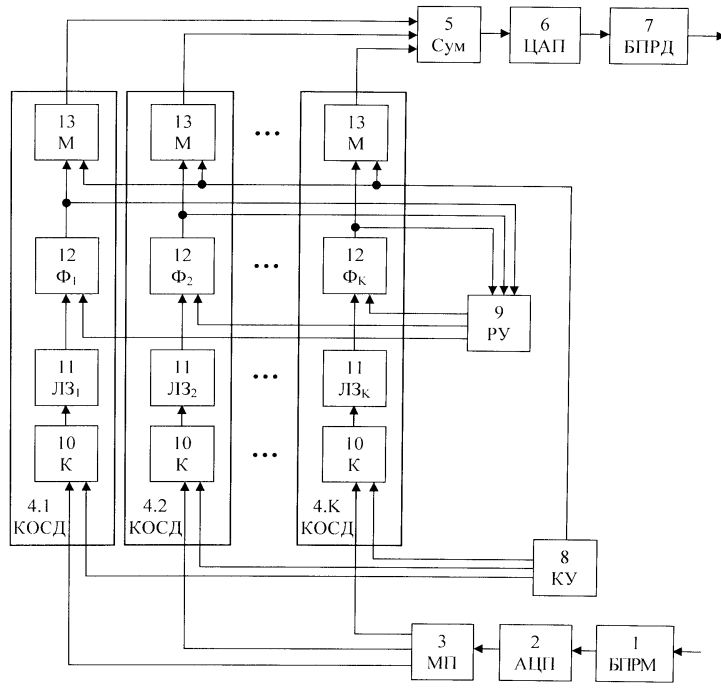
(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования "Санкт-  
Петербургский государственный  
электротехнический университет "ЛЭТИ"  
им. В.И. Ульянова (Ленина) (RU)**(54) РАДИОЛОКАЦИОННАЯ СТАНЦИЯ С ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к радиотехнике, а именно к радиолокации, и может быть использовано при построении радиолокационной станции с многоканальной положительной обратной связью. Достижимый технический результат - увеличение вероятности правильного обнаружения цели и уменьшение вероятности ложных тревог за счет исключения взаимного влияния автоколебаний в дальномерных каналах. Указанный результат достигается за счет того, что радиолокационная станция (РЛС) с

многоканальной положительной обратной связью содержит блок приема сигналов, аналого-цифровой преобразователь, мультиплексор, сумматор, цифроаналоговый преобразователь, блок передачи сигналов, К каналов обработки сигналов по дальности, при этом каждый канал содержит коррелятор, линию задержки, фильтр, модулятор, РЛС также содержит решающее устройство, кодирующее устройство. Перечисленные средства определенным образом выполнены и соединены между собой. 1 ил.





FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2014130575/07, 22.07.2014

(24) Effective date for property rights:  
22.07.2014

Priority:

(22) Date of filing: 22.07.2014

(45) Date of publication: 10.08.2015 Bull. № 22

Mail address:

197376, Sankt-Peterburg, ul. Prof. Popova, 5,  
SPGEhTU, patentnyj otdel, K.I. Berkovskoj

(72) Inventor(s):

**Kutuzov Vladimir Mikhajlovich (RU),  
Kovalev Dmitrij Aleksandrovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe  
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego  
professional'nogo obrazovanija "Sankt-  
Peterburgskij gosudarstvennyj  
ehlektrotekhnicheskij universitet "LEhTI" im.  
V.I. Ul'janova (Lenina) (RU)**

(54) **POSITIVE FEEDBACK RADAR STATION**

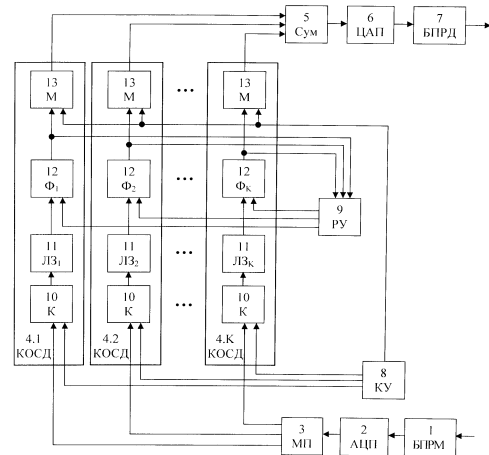
(57) Abstract:

FIELD: radio engineering, communication.

SUBSTANCE: multichannel positive feedback radar station comprises a signal receiving unit, an analogue-to-digital converter, a multiplexer, an adder, a digital-to-analogue converter, a signal transmitting unit and K range signal processing channels. Each channel comprises a correlator, a delay line, a filter and a modulator. The radar station also includes a decision device and an encoder. The listed devices are made and connected to each other in a certain manner.

EFFECT: high probability of correct target detection and low probability of false alarm owing to the elimination of self-oscillation interference in range channels.

1 dwg



RU 2 559 837 C1

RU 2 559 837 C1

Изобретение относится к радиотехнике, а именно к радиолокации, и может быть использовано при построении радиолокационной станции с многоканальной положительной обратной связью.

Известен тип радиолокационных станций (РЛС), работающих на основе пространственной обратной связи [Тенкин В.А., Винокуров В.И., Калениченко С.П., Попов В.Н., Щербак В.И. Морская радиолокация / Под ред. В.И. Винокурова. Изд. «Судостроение», 1986, с.199]. Основным преимуществом таких станций является высокая энергетическая и информационная скрытность их работы, поскольку при отсутствии целей в зоне обзора излучаются маломощные собственные шумы системы, а нарастание мощности происходит только при появлении цели в просматриваемом элементе дистанции. С точки зрения физических процессов, протекающих в системе, такие радиолокационные станции могут быть представлены в виде автогенератора с задержанной положительной обратной связью. Автоколебания в такой системе могут возникать на частотах  $f_n$ , кратных величине, обратной задержке сигнала  $T$ :  $f_n = n/T$ , где  $n=1,2,\dots$ . Если полоса фильтра  $\Delta f$  в цепи обратной связи превышает величину  $1/T$ , выполнение баланса фаз гарантировано. При наличии цели с достаточной эффективной площадью рассеяния (ЭПР) и компенсации потерь на трассе распространения сигнала за счет усиления в приемо-передающем тракте радиолокатора выполняется условие баланса амплитуд, результирующий коэффициент усиления в петле обратной связи  $K_{OC} > 1$  и в замкнутой системе «РЛС - пространство - цель», возникают экспоненциально нарастающие автоколебания. Для измерения и разрешения целей по дальности в РЛС с пространственной обратной связью используется модуляция узкополосного шума на выходе фильтра и последующая корреляционная обработка сигнала в приемнике. Недостатком такой РЛС является последовательный просмотр каналов по дальности, что при большом их количестве существенно замедляет темп обзора пространства.

Наиболее близкой по совокупности существенных признаков к предлагаемой РЛС является радиолокационная станция с положительной обратной связью через цель, описанная в патенте на полезную модель №113018. Данная станция построена по многоканальной схеме измерения дальности и содержит параллельные каналы обработки сигналов по дальности (КОСД). Распараллеливание каналов и обработка сигналов осуществляются в цифровом виде, для чего в схему РЛС введены аналого-цифровой преобразователь (АЦП), мультиплексор (М), сумматор (Сум) и цифроаналоговый преобразователь (ЦАП). Каждый канал обработки сигналов по дальности содержит последовательно включенные фильтры сжатия, накопительные узкополосные фильтры с одинаковыми частотами настройки и полосами пропускания, выравнивающие линии задержки (ЛЗ), временные селекторы, выполняющие роль импульсных формирователей, и фильтры растяжения сигналов.

При наличии единственной цели в зоне обзора РЛС физические процессы, протекающие в такой системе, по-прежнему можно описать с помощью модели автогенератора с задержанной обратной связью. При появлении нескольких целей в различных каналах дальности такая РЛС становится эквивалентной автогенератору с многопетлевой задержанной обратной связью. Как известно, возникающие автоколебания в такой системе носят сложный характер, так как происходит взаимный энергетический обмен между отдельными петлями обратной связи [Яковлев В.П. Генераторы с многопетлевой обратной связью. - М.: Связь, 1973]. За счет взаимного влияния автоколебаний в петлях обратной связи баланс фаз и амплитуд не может быть выполнен независимо в отдельном дальностном канале даже при формировании фильтрами растяжения ортогональных сигналов. Это является основным недостатком

данной схемы построения РЛС с положительной обратной связью, поскольку делает непредсказуемыми и неуправляемыми величины вероятностей правильного обнаружения и ложных тревог, что, в конечном счете, не позволяет гарантировать надежное разрешение целей и однозначное измерение их дальностей.

5 Задачей, решаемой изобретением, является обеспечение независимого многоканального обнаружения целей по дальности в радиолокационной станции с положительной обратной связью за счет формирования частотно-независимых каналов пространственного самовозбуждения через пространство и цели.

10 Поставленная задача решается за счет того, что предлагаемая РЛС с положительной обратной связью, так же как и известная, содержит  $K$  каналов обработки сигналов по дальности, входы которых соединены с блоком приема сигналов через последовательное соединение аналого-цифрового преобразователя и мультиплексора, а выходы подключены к сумматору, соединенному через цифроаналоговый преобразователь с блоком передачи сигналов, при этом каждый канал содержит линию задержки и фильтр.  
15 Но, в отличие от известной, на входе каждого канала установлен коррелятор, соединенный с входом линии задержки, выход которого соединен с входом фильтра, а на выходе каждого канала установлен модулятор, вход которого соединен с выходом фильтра, выходы каждого фильтра дополнительно подсоединены ко входам решающего устройства, выходы которого соединены со вторыми входами фильтров, и введено  
20 кодирующее устройство, выход которого подсоединен ко вторым входам модуляторов, а выходы, соответствующие задержанным копиям модулирующего сигнала, ко вторым входам корреляторов, причем в качестве фильтров использованы узкополосные фильтры с одинаковыми полосами пропускания и неповторяющимися частотами настройки, эквидистантно распределенными по рабочему частотному диапазону радиолокационной  
25 станции.

Техническим результатом, достигаемым изобретением, является увеличение вероятности правильного обнаружения цели и уменьшение вероятности ложных тревог за счет исключения взаимного влияния автоколебаний в дальномерных каналах.

30 Изобретение поясняется чертежом, на котором представлена обобщенная структурная схема предлагаемой радиолокационной станции с многоканальной положительной обратной связью. Предлагаемая РЛС состоит из блока приема 1 (БПРМ), аналого-цифрового преобразователя 2 (АЦП), преобразующего сигнал в цифровую форму, мультиплексора 3 (МП), в котором сигнал распараллеливается на  $K$  каналов обработки сигналов по дальности 4 (КОСД), сумматора 5 (Сум), на выходе которого  
35 формируется многополосный шумоподобный сигнал  $X(t)$ , ширина спектра которого определяется как КДФ, цифроаналогового преобразователя 6 (ЦАП), где сигнал преобразуется в аналоговую форму, блока передачи 7 (БПРД), кодирующего устройства 8 (КУ), в котором генерируется модулирующий сигнал  $z(t)$  и его копии, задержанные на  $\tau_k$ , и решающего устройства 9 (РУ), которое прерывает процесс нарастания  
40 автоколебаний в  $k$ -м канале дальности при обнаружении в нем цели. Каждый канал обработки сигналов по дальности 4 (КОСД) настроен на обработку сигналов с соответствующей задержкой  $\tau_k$  и содержит коррелятор 10 (К), выравнивающий линию задержки 11 (ЛЗ), величина  $T_k$  которой выбирается из условия  $\tau_k + T_k = T = \text{const}$ ,  
45 узкополосный фильтр 12 (Ф) и модулятор 13 (М), в котором формируется шумоподобный сигнал  $x_k(t)$ , полоса которого имеет ширину  $\Delta F \gg \Delta f$ , необходимую для обеспечения разрешения целей по дальности. Причем узкополосный фильтр 12 (Ф) с шириной полосы пропускания  $\Delta f = 1/T$  настроен на частоту самовозбуждения  $k$ -го канала

дальности  $f_k = n_k/T$ , а расстояние между частотами настройки фильтров 12 выбирается исходя из условия  $f_{k+1} - f_k = \Delta F$ , где  $\Delta F$  - ширина спектра модулированного сигнала самовозбуждения в пространстве.

5 Физические процессы, протекающие в РЛС с многоканальной положительной обратной связью, можно описать с помощью ряда независимо функционирующих однопетлевых автогенераторов с задержанной обратной связью, каждый из которых работает на своей частоте возбуждения. Следовательно, при обнаружении целей в различных каналах дальности взаимное влияние сигналов автоколебаний будет практически отсутствовать.

10 При появлении цели в просматриваемом элементе дальности переотраженный целью многополосный шумовой сигнал  $X(t)$  поступает на вход блока приема 1 и, далее, на вход аналого-цифрового преобразователя 2. Оцифрованный сигнал поступает на вход мультиплексора 3, в котором входной сигнал разделяется на  $K$  параллельных сигналов, которые поступают на  $K$  частотно-независимых каналов обработки сигналов по  
15 дальности 4. Каждый канал обработки сигналов 4 настроен на определенную дальность. Это достигается, во-первых, за счет подачи с соответствующего выхода кодирующего устройства 8 на второй вход коррелятора 10 демодулирующего сигнала  $z(t - \tau_k)$  с фиксированной для данного канала дальности задержкой  $\tau_k$  и, во-вторых, настройкой  
20 фильтров 12 на индивидуальную частоту самовозбуждения  $k$ -го канала дальности  $f_k$ . Включение в каждый канал обработки сигналов по дальности 4 выравнивающих линий задержки 11 с индивидуальным временем  $T_k$ , обеспечивающим выполнение условия  $\tau_k + T_k = 1/\Delta f$ , гарантирует выполнение баланса фаз в каждом канале дальности, а  
25 частотный разнос настройки соседних фильтров 12 более чем на  $\Delta F$  гарантирует отсутствие влияния процессов самовозбуждения в соседних каналах дальности. В случае совпадения задержек отраженного  $X(t - \tau)$  и опорного  $z(t - \tau_k)$  сигналов ( $\tau = \tau_k$ ) в корреляторе 10 осуществляется свертка сигнала в частотной области, в результате соответствующая составляющая  $x_k(t)$  многополосного шумоподобного сигнала  $X(t)$  преобразуется в  
30 узкополосный шум полосой  $\Delta f$  на несущей частоте  $f_k$ , энергия которого попадает в соответствующий узкополосный фильтр 12. Спектральные компоненты узкополосного шума, для которых выполняется баланс фаз, складываются когерентно, что приводит к их нарастанию на выходе фильтра. Далее выходной сигнал фильтра 12 поступает на модулятор 13, в котором происходит расширение спектра сигнала до величины  $\Delta F$ . На  
35 второй и последующих пространственных циркуляциях шумоподобного сигнала модуляции подвергаются нарастающие автоколебания  $x_k(t)$  соответствующего канала дальности. Выходные сигналы параллельных каналов обработки сигналов по дальности 4 поступают на сумматор 5, где формируется многополосный сигнал  $X(t)$ , который  
40 далее преобразуется в цифроаналоговом преобразователе 6 и излучается в пространство блоком передачи 7.

Для выполнения баланса амплитуд необходимо, чтобы суммарный коэффициент усиления в петле обратной связи  $K_{OC} > 1$ . Это эквивалентно условию компенсации потерь на трассе распространения сигнала соответствующим усилением в приеме-передающем тракте РЛС. Коэффициент усиления РЛС с положительной обратной связью  
45  $K_{РЛС} = P_{изл} / P_{пр} > 1$ , где  $P_{изл}$  - выходная мощность, излучаемая в пространство передающим блоком,  $P_{пр}$  - мощность собственных шумов приемного блока в полосе  $\Delta f$ . На основе известного уравнения радиолокации [Радиотехнические системы / Под ред. Ю.М.

Казаринова. - Изд. «Академия», 2008]  $K_{РЛС}$  можно записать в виде:

$$K_{РЛС} = \frac{(4\pi)^3 R_k^4 \gamma^2}{G_1 G_2 \lambda^2 \sigma},$$

5 где  $R_k$  - дальность до цели в  $k$ -м канале;  $\gamma$  - ослабление мощности сигнала на трассе распространения;  $G_1$  и  $G_2$  - коэффициент усиления передающей и приемной антенн соответственно;  $\lambda$  - длина волны несущего колебания,  $\sigma$  - эффективная площадь рассеяния цели. При этом предполагается, что все каскады приемо-передающего тракта в момент возникновения и нарастания автоколебаний согласованы по уровню входных и выходных шумов и работают в линейном режиме.

10 Выполнение баланса фаз и амплитуд в  $k$ -м канале дальности приводит к появлению экспоненциально нарастающих автоколебаний в полосе пропускания соответствующего фильтра 12. При обнаружении нарастающих автоколебаний в  $k$ -м канале обработки сигналов по дальности 4, являющихся признаком наличия цели, решающее устройство 9 (РУ) вырабатывает сигнал разряда узкополосного фильтра 12, принудительно прерывающий автоколебания в этом канале, что гарантирует работу блоков РЛС в линейном режиме. При этом время анализа возникающих автоколебаний во всех  $K$  каналах дальности  $T_a$  должно быть согласовано с суммарным временем задержки  $T$ .

20 Как правило, на практике достаточным для надежного возникновения автоколебаний и их обнаружения является  $T_a = 10 \dots 30 T$ .

При наличии целей и выполнения баланса амплитуд в нескольких каналах дальности нарастающие автоколебания могут возникать независимо на разных частотах и фиксироваться решающим устройством 9 в соответствующих каналах дальности, что обеспечит многоканальное обнаружение целей с заданными характеристиками. При этом спектры сигналов возникающих автоколебаний практически не перекрываются, что обеспечивает независимость процессов нарастания автоколебаний в пределах линейного динамического диапазона блоков РЛС. При обнаружении цели в  $k$ -м канале дальности решающее устройство 9 вырабатывает сигнал разряда соответствующего узкополосного фильтра 12. Для параллельного анализа всех каналов дальности и принятия решения о наличии целей отводится время анализа  $T_a \gg T$ , после чего узкополосные фильтры 12 синхронно разряжаются по сигналу решающего устройства 9, и начинается новый цикл обзора пространства.

35 Работа устройства доказывает достижение технического результата, а именно позволяет при многоканальном параллельном обзоре пространства увеличить вероятность правильного обнаружения целей и уменьшить вероятность ложных тревог за счет исключения взаимного влияния автоколебаний в дальномерных каналах.

#### Формула изобретения

40 Радиолокационная станция с положительной обратной связью, содержащая  $K$  каналов обработки сигналов по дальности, входы которых соединены с блоком приема сигналов через последовательное соединение аналого-цифрового преобразователя и мультиплексора, а выходы подключены к сумматору, соединенному через цифроаналоговый преобразователь с блоком передачи сигналов, при этом каждый канал содержит линию задержки и фильтр, отличающаяся тем, что на входе каждого канала установлен коррелятор, соединенный с входом линии задержки, выход которой соединен с входом фильтра, а на выходе каждого канала установлен модулятор, вход которого соединен с выходом фильтра, выходы каждого фильтра дополнительно

подсоединены к входам решающего устройства, выходы которого соединены со вторыми входами фильтров, и введено кодирующее устройство, выход которого подсоединен ко вторым входам модуляторов, а выходы, соответствующие задержанным копиям модулирующего сигнала, ко вторым входам корреляторов, причем в качестве 5 фильтров использованы узкополосные фильтры с одинаковыми полосами пропускания и неповторяющимися частотами настройки, эквидистантно распределенными по рабочему частотному диапазону радиолокационной станции.

10

15

20

25

30

35

40

45