



РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(19) **RU** (11) **27 713** (13) **U1**
(51) МПК
G01S 13/52 (2000.01)

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(21), (22) Заявка: 2002109029/20, 10.04.2002

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
10.04.2002

(46) Опубликовано: 10.02.2003

Адрес для переписки:

105264, Москва, ул.Верхняя Первомайская, 6,
корп.3, кв.92, Р.И. Кузнецовой

(71) Заявитель(и):

Научно-исследовательский институт
радиоэлектроники и лазерной техники
Московского государственного
технического университета им. Н.Э.Баумана

(72) Автор(ы):

Слукин Г.П.,
Кузнецов А.А.,
Крючков И.В.,
Нефедов С.И.,
Шустиков В.Ю.,
Бутько В.А.,
Воробьев П.В.

(73) Патентообладатель(и):

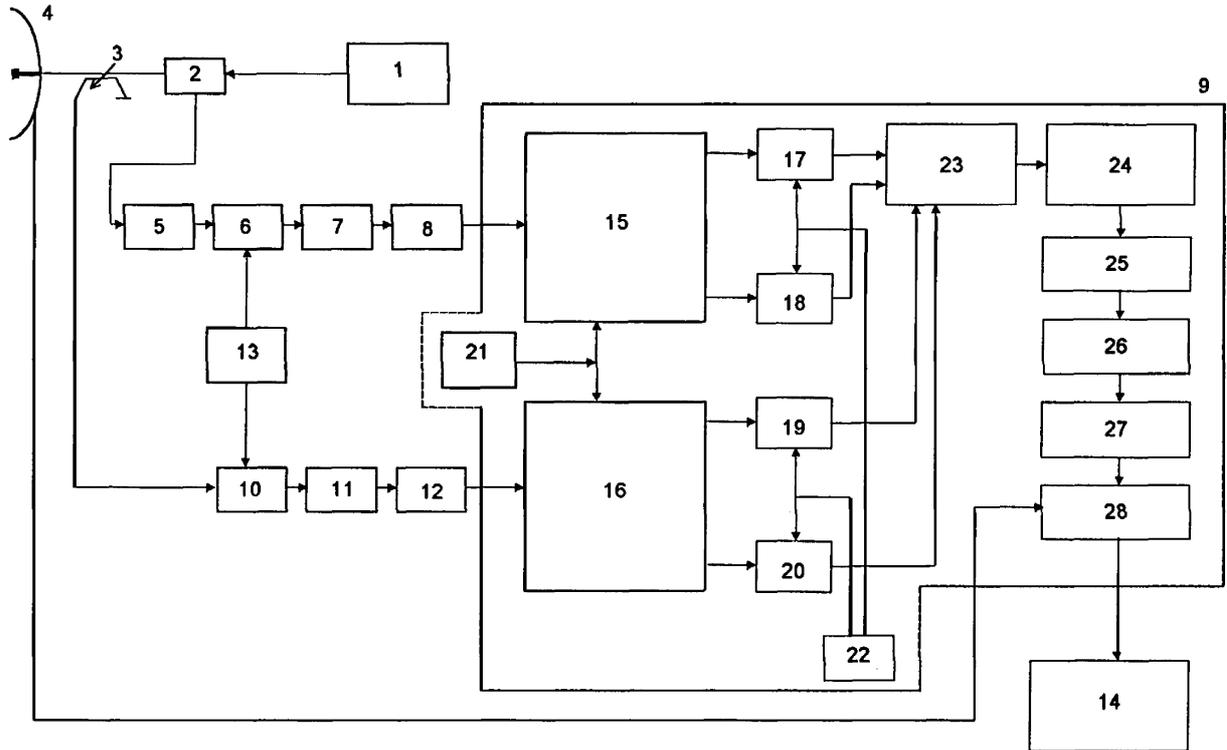
Научно-исследовательский институт
радиоэлектроники и лазерной техники
Московского государственного
технического университета им. Н.Э.Баумана

(54) КОГЕРЕНТНО-ИМПУЛЬСНАЯ РАДИОЛОКАЦИОННАЯ СТАНЦИЯ

(57) Формула полезной модели

Когерентно-импульсная радиолокационная станция, содержащая последовательно соединенные передающее устройство, антенный переключатель и направленный ответвитель, к выходу основного плеча которого подсоединена приемопередающая антенна, последовательно соединенные усилитель высокой частоты, вход которого подсоединен к третьему плечу антенного переключателя, первый смеситель, первый фильтр промежуточной частоты и первый усилитель промежуточной частоты, выход которого соединен с первым входом блока обработки сигналов, последовательно соединенные второй смеситель, вход которого подсоединен к выходу вспомогательного плеча направленного ответвителя, второй фильтр промежуточной частоты и второй усилитель промежуточной частоты, выход которого соединен с вторым входом блока обработки сигналов, первый гетеродин, подключенный соответственно к гетеродинным входам первого и второго смесителей, и индикаторное устройство, подсоединенное к выходу блока обработки сигналов, отличающаяся тем, что блок обработки сигналов содержит два квадратурных фазовых детектора, четыре аналого-цифровых преобразователя, опорный генератор, синхронизатор, последовательно соединенные блок приведения фазы, блок памяти, блок спектрального анализа, блок пороговой обработки, блок экстремальной обработки и блок формирования отметок целей, при этом входы первого и второго

квадратурных фазовых детекторов являются соответственно первым и вторым входами блока обработки сигналов, а их опорные входы подключены к выходу опорного генератора, выходы синусных и косинусных каналов первого и второго квадратурных фазовых детекторов соединены соответственно с входами первого, второго, третьего и четвертого аналого-цифровых преобразователей, тактовые входы которых подсоединены соответственно к выходам синхронизатора, выходы аналого-цифровых преобразователей подключены соответственно к входам блока приведения фазы, выход блока формирования отметок целей является выходом блока обработки сигналов, а второй вход блока формирования отметок целей является входом сигнала датчика азимута приемо-передающей антенны.



RU 27713 U1

RU 27713 U1



Кл. МКИ G 01S 13/52

Когерентно-импульсная радиолокационная станция

Полезная модель относится к радиолокационной технике и может использоваться для обнаружения и измерения координат воздушных, надводных и наземных целей.

Известна когерентно-импульсная радиолокационная станция (РЛС) типа П-18 (Техническое описание изделия 1РЛ131), представленная на фиг.1, в состав которой входят антенна, передающее устройство, антенный переключатель, направленный ответвитель, усилитель высокой частоты, гетеродин, смеситель, фильтры промежуточной частоты, усилители промежуточной частоты, устройство селекции движущейся цели, индикатор. Устройство селекции движущейся цели содержит когерентный гетеродин, фазовый детектор, фильтр нижних частот, блоки запоминания и вычитания.

Схемы череспериодного вычитания (ЧПВ) обеспечивают селекцию пассивных помех, однако, их эффективность зависит от ширины спектра помехи. Кроме того, схемы ЧПВ снижают вероятность правильного обнаружения цели и практически не влияют на устойчивость к активным помехам, так как имеют большую полосу пропускания. Известная когерентно-импульсная РЛС не обеспечивает измерение радиальной скорости целей и не обеспечивает разрешение целей по этому параметру. Кроме того, такая схема имеет низкую помехоустойчивость при действии пассивных и активных помех. Процесс обнаружения цели, измерение и выдача ее координат (дальность, азимут) осуществляется оператором вручную, в частности, по индикатору кругового обзора.

Технической задачей данной полезной модели является увеличение дальности действия РЛС, улучшение подавления пассивных помех, повышение устойчивости РЛС к действию активных помех, обеспечение измерения радиальной скорости цели, обеспечение разрешения целей по радиальной скорости.

2002109029

2

Поставленная задача решается тем, что в когерентно-импульсной радиолокационной станции, содержащей последовательно соединенные передающее устройство, антенный переключатель и направленный ответвитель, к выходу основного плеча которого подсоединена приемопередающая антенна, последовательно соединенные усилитель высокой частоты, вход которого подсоединен к третьему плечу антенного переключателя, первый смеситель, первый фильтр промежуточной частоты и первый усилитель промежуточной частоты, выход которого соединен с первым входом блока обработки сигналов, последовательно соединенные второй смеситель, вход которого подсоединен к выходу вспомогательного плеча направленного ответвителя, второй фильтр промежуточной частоты и второй усилитель промежуточной частоты, выход которого соединен с вторым входом блока обработки сигналов, гетеродин, подключенный соответственно к гетеродинным входам первого и второго смесителей, индикаторное устройство, подсоединенное к выходу блока обработки сигналов, согласно заявляемой полезной модели, блок обработки содержит два квадратурных фазовых детектора, четыре аналого-цифровых преобразователя, опорный генератор, синхронизатор, последовательно соединенные блок приведения фазы, блок памяти, блок спектрального анализа, блок пороговой обработки, блок экстремальной обработки и блок формирования отметок целей, при этом входы первого и второго квадратурных фазовых детекторов являются соответственно первым и вторым входами блока обработки сигналов, а их опорные входы подключены к выходу опорного генератора, выходы синусных и косинусных каналов первого и второго квадратурных фазовых детекторов соединены соответственно с входами первого, второго, третьего и четвертого аналого-цифровых преобразователей, тактовые входы которых подсоединены соответственно к выходам синхронизатора, выходы аналого-цифровых преобразователей подключены соответственно к входам блока приведения фазы, выход блока формирования отметок целей является выходом блока

200210 2029

обработки сигналов, второй вход блока формирования отметок целей является входом сигнала датчика азимута приемо-передающей антенны.

Увеличение дальности обнаружения достигается за счет сужения полосы пропускания приемного устройства и соответствующего увеличения чувствительности. При когерентном накоплении N зондирующих импульсов эффективная полоса пропускания приемного устройства уменьшается в N раз. Повышение устойчивости к активным помехам достигается за счет сужения полосы пропускания приемного устройства и равномерного распределения энергии помехи по всем доплеровским каналам, обусловленного применением зондирующего сигнала со случайной зондирующей фазой, что повышает отношение сигнал/шум в N раз. При этом, действие широкополосных или сосредоточенных по спектру помех эквивалентно, что обусловлено тем, что зондирующий сигнал имеет случайную начальную фазу. Разрешение и измерение радиальной скорости достигается применением многоканального параллельного обзора по доплеровской частоте с использованием алгоритмов быстрого преобразования Фурье (БПФ). Применение адаптивной пороговой обработки позволяет автоматизировать процесс обнаружения целей и выдачи целеуказаний.

На фиг.1. приведена функциональная схема прототипа; на фиг.2 – функциональная схема заявляемой когерентно-импульсной радиолокационной станции; на фиг. 3 приведены эпюры, поясняющие процесс формирования когерентной пачки.

Когерентно-импульсная радиолокационная станция содержит последовательно соединенные передающее устройство 1, антенный переключатель 2 и направленный ответвитель 3, к выходу основного плеча которого подсоединена приемо-передающая антенна 4, последовательно соединенные усилитель высокой частоты 5, вход которого подсоединен к третьему плечу антенного переключателя 2, первый смеситель 6, первый фильтр промежуточной частоты 7 и первый усилитель промежуточной

2002109029

частоты 8, выход которого соединен с первым входом блока обработки сигналов 9, последовательно соединенные второй смеситель 10, вход которого подсоединен к выходу вспомогательного плеча направленного ответвителя 3, второй фильтр промежуточной частоты 11 и второй усилитель промежуточной частоты 12, выход которого соединен с вторым входом блока обработки сигналов 9, гетеродин 13, подключенный соответственно к гетеродинным входам первого и второго смесителей 6, 10, индикаторное устройство 14, подсоединенное к выходу блока обработки сигналов 9. Блок обработки сигналов 9 содержит два квадратурных фазовых детектора (КФД) 15, 16, четыре аналого-цифровых преобразователя (АЦП) 17, 18, 19, 20, опорный генератор 21, синхронизатор 22, последовательно соединенные блок приведения фазы 23, блок памяти 24, блок спектрального анализа 25, блок пороговой обработки 26, блок экстремальной обработки 27 и блок формирования отметок целей 28, при этом входы первого и второго КФД 15, 16 являются соответственно первым и вторым входами блока обработки 9 сигналов, а их опорные входы подключены к выходу опорного генератора 21, выходы синусных и косинусных каналов первого КФД 15 соединены соответственно с входами первого и второго АЦП 17, 18, выходы синусных и косинусных каналов второго КФД 16 соединены соответственно с входами третьего и четвертого АЦП 19, 20, тактовые входы АЦП 17, 18, подсоединены к одному из выходов синхронизатора 22, а тактовые входы АЦП 19, 20 подсоединены к другому выходу синхронизатора 22, выходы АЦП 17, 18, 19, 20 подключены соответственно к входам блока приведения фазы 23, выход блока формирования отметок целей 28 является выходом блока обработки сигналов 9, второй вход блока формирования отметок целей 28 является входом сигнала датчика азимута приемо-передающей антенны 4.

Когерентно-импульсная радиолокационная станция (РЛС) работает следующим образом.

Отраженный от цели зондирующий сигнал передающего устройства 1 принимается приемо-передающей антенной 4. Принимаемый эхо-сигнал

2002102029

через третье плечо антенного переключателя 2 поступает на вход усилителя высокой частоты 5, преобразуется в сигнал промежуточной частоты в смесителе 6, который выделяется фильтром 7, усиливается усилителем промежуточной частоты 8 и поступает на первый вход блока обработки сигналов 9 и, следовательно, на вход КФД 15.

На вход КФД 16 поступает зондирующий сигнал на промежуточной частоте со смесителя 10, вход которого подключен к направленному ответвителю 3, связанному с антенным фидером РЛС. В качестве опорных сигналов смесителей 6 и 10 используется напряжение гетеродина 13.

Опорный генератор 21 выдает опорный сигнал, поступающий на опорный вход КФД 16. Частота опорного сигнала равна номинальному значению промежуточной частоты на выходе УПЧ 12.

На выходе синусного и косинусного каналов КФД 16 образуются квадратурные составляющие излучаемого сигнала, которые поступают в блоки АЦП 19 и АЦП 20, где преобразуются в цифровую форму. Оцифровка происходит в момент времени, близкий к центру огибающей зондирующего импульса, один раз за период зондирования. Момент оцифровки определяется моментом прихода тактового импульса с синхронизатора 22 на АЦП 19 и АЦП 20.

Полученные цифровые коды квадратурных компонент зондирующего сигнала поступают в блок приведения фазы 23, где запоминаются на время одного периода зондирования.

На опорный вход КФД 15 поступают те же сигналы, что и на опорный вход КФД 16. С выходов синусного и косинусного каналов КФД 16 квадратурные составляющие принимаемого эхо-сигнала поступают в АЦП 19 и АЦП 20, где преобразуются в цифровую форму. Моменты оцифровки определяются моментами прихода тактовых импульсов с синхронизатора 22 на АЦП 19, АЦП 20.

Синхронизатор 22 выдает пакеты тактовых импульсов в каждом периоде зондирования. Время прихода первого импульса в пакете относительно конца

2002109029

зондирующего сигнала соответствует минимальной дальности РЛС, интервал между импульсами τ_r - не более 0.5 элемента разрешения РЛС по дальности, время прихода последнего импульса в пачке - максимальной дальности РЛС. Количество тактовых импульсов соответствует числу наблюдаемых каналов дальности.

Цифровые коды квадратурных компонент эхо-сигнала поступают в блок приведения фазы 23. Блок приведения фазы 23 выполняет операцию вычитания запомненной в виде квадратурного отсчета фазы излученного сигнала из фазы принимаемого эхо-сигнала в текущем периоде зондирования. Вычитание производится для отсчета в каждом канале дальности.

Квадратуры излученного сигнала можно записать в виде:

$$U_{pc} = U_{\Pi} \cos \varphi_{\Pi},$$

$$U_{ps} = U_{\Pi} \sin \varphi_{\Pi},$$

где φ_{Π} - фаза импульса передатчика. Из квадратур U_{pc} и U_{ps} строятся элементы матрицы преобразования:

$$\cos \varphi_{\Pi} = U_{pc} / \sqrt{U_{pc}^2 + U_{ps}^2},$$

$$\sin \varphi_{\Pi} = U_{ps} / \sqrt{U_{pc}^2 + U_{ps}^2}$$

Затем для каждого отсчета принимаемого сигнала (U_c , U_s) вычисляется приведенный отсчет (Q_c , Q_s) следующим образом:

$$\begin{bmatrix} Q_c \\ Q_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi_{\Pi} & \sin \varphi_{\Pi} \\ -\sin \varphi_{\Pi} & \cos \varphi_{\Pi} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_c \\ U_s \end{bmatrix}.$$

В приведенных отсчетах (Q_c , Q_s) случайная составляющая фазы, обусловленная некогерентной схемой передатчика, значительно подавлена.

Полученные отсчеты поступают на блок памяти 24.

В блоке памяти 24 приведенные отсчеты накапливаются за N периодов зондирования для каждого k -го канала дальности, образуя когерентную пачку, как показано на фиг. 3. Объем пачки N выбирается равным 2^p , где p - целое число, $p = 5 \dots 7$.

2002109029

7

Накопленная в блоке памяти 24 информация используется блоком спектрального анализа 25, где над полученными выборками производится комплексное дискретное преобразование Фурье:

$$\dot{S}_n^k = \sum_{i=0}^{N-1} w(i) \cdot [Q_{Ci}^k + jQ_{Si}^k] \cdot e^{-j\frac{2\pi n i}{N}}, \quad n = 0 \dots N-1, \quad k = 0 \dots K-1,$$

где (Q_{Ci}^k, Q_{Si}^k) - i -й отсчет в k -м канале дальности; $w(i)$ - весовая функция, K - число каналов дальности, j - комплексная единица. Будем называть отсчеты спектров \dot{S}_n^k n -ым частотным каналом.

Для вычисления преобразования Фурье могут использоваться быстрые алгоритмы. Выбор N равным степени числа 2 дает выигрыш по количеству операций при использовании алгоритмов быстрого преобразования Фурье.

По полученным спектрам \dot{S}^k всех каналов дальности осуществляется обнаружение сигналов от целей и измерение координат обнаруженных целей.

Обработка осуществляется в три этапа: пороговая обработка, экстремальная обработка и формирование отметок целей.

На этапе пороговой обработки в блоке пороговой обработки 26 сначала вычисляется оценка мощности шума $\sigma_{оц}^k$ в каждом k -ом канале дальности:

$$\sigma_{оц}^k = \frac{1}{2N} \sum_{i=0}^{N-1} |S_i^k|^2.$$

На основании полученной оценки устанавливается значение порога обнаружения U_0^k , равное

$U_0^k = \sqrt{-2\sigma_{оц}^k \ln \alpha}$, где α - требуемая вероятность ложной тревоги, значение которой задается в процессе работы РЛС.

Затем амплитуда сигнала в каждом n -ом частотном канале \dot{S}_n^k сравнивается с порогом U_0^k :

$$\left| \dot{S}_n^k \right| > U_0^k, \quad n = 0 \dots N-1.$$

2002109029

Номера частотных каналов, в которых сигнал превысил порог U_0^k , запоминаются, образуя списки L^k для каждого k -го канала дальности, и передаются на экстремальную обработку.

На этапе экстремальной обработки в блоке экстремальной обработки 27 отыскиваются номера частотных каналов, соответствующие локальным максимумам в доплеровском спектре, образуемым распределенными по частоте целями. При этом, обеспечивается разрешение целей по доплеровской частоте. Из списков номеров частотных каналов L^k , полученных на этапе пороговой обработки, исключаются номера частотных каналов, не удовлетворяющие условию:

$$\left| \dot{S}_{n-1}^k \right| < \left| \dot{S}_n^k \right| > \left| \dot{S}_{n+1}^k \right| \text{ для } n \in L^k, k = 0 \dots K - 1.$$

После этого отыскиваются каналы дальности, соответствующие локальным максимумам в дальностном профиле, образуемом распределенными по дальности целями. Из списков L^k исключаются номера частотных каналов, не удовлетворяющие условию

$$\left| \dot{S}_n^{k-1} \right| < \left| \dot{S}_n^k \right| > \left| \dot{S}_n^{k+1} \right| \text{ для } n \in L^k, k = 1 \dots K - 2.$$

На третьем этапе в блоке формирования отметок целей 28 для каждого из оставшихся в списках L^k номеров каналов составляется формуляр целевой отметки, включающий в себя следующие параметры:

азимут цели, β ; наклонная дальность, γ ; радиальная скорость, V_r ; показатель обнаружения, q .

Азимут цели β принимается равным значению, полученному с датчика азимута (датчика углового положения) приемо-передающей антенны 4 РЛС на момент излучения $N/2$ -го зондирующего импульса в когерентной пачке.

Наклонная дальность цели γ вычисляется по формуле:

$$\gamma = kC_r + \gamma_{\min},$$

где k - номер канала дальности, C_r - константа, учитывающая скорость распространения радиоволн и интервал тактовых импульсов каналов

2002102029

9

дальности τ_r , $C_r = c \cdot \tau_r / 2$, $c = 3 \cdot 10^8$ м/с - скорость света, r_{\min} - минимальная дальность действия РЛС.

Радиальная скорость цели V_r вычисляется по формуле:

$$V_r = C_v \cdot n / N, \text{ при } n < N/2,$$

$$V_r = C_v \cdot (n - N) / N, \text{ при } n \geq N/2,$$

где n - номер частотного канала, C_v - константа, учитывающая рабочую длину волны РЛС λ и период зондирования T_{Π} , $C_v = \lambda / T_{\Pi}$.

Показатель обнаружения цели q характеризует достоверность данной отметки и рассчитывается как:

$$q = \left| \dot{S}_n^k \right| / \sigma_{oc},$$

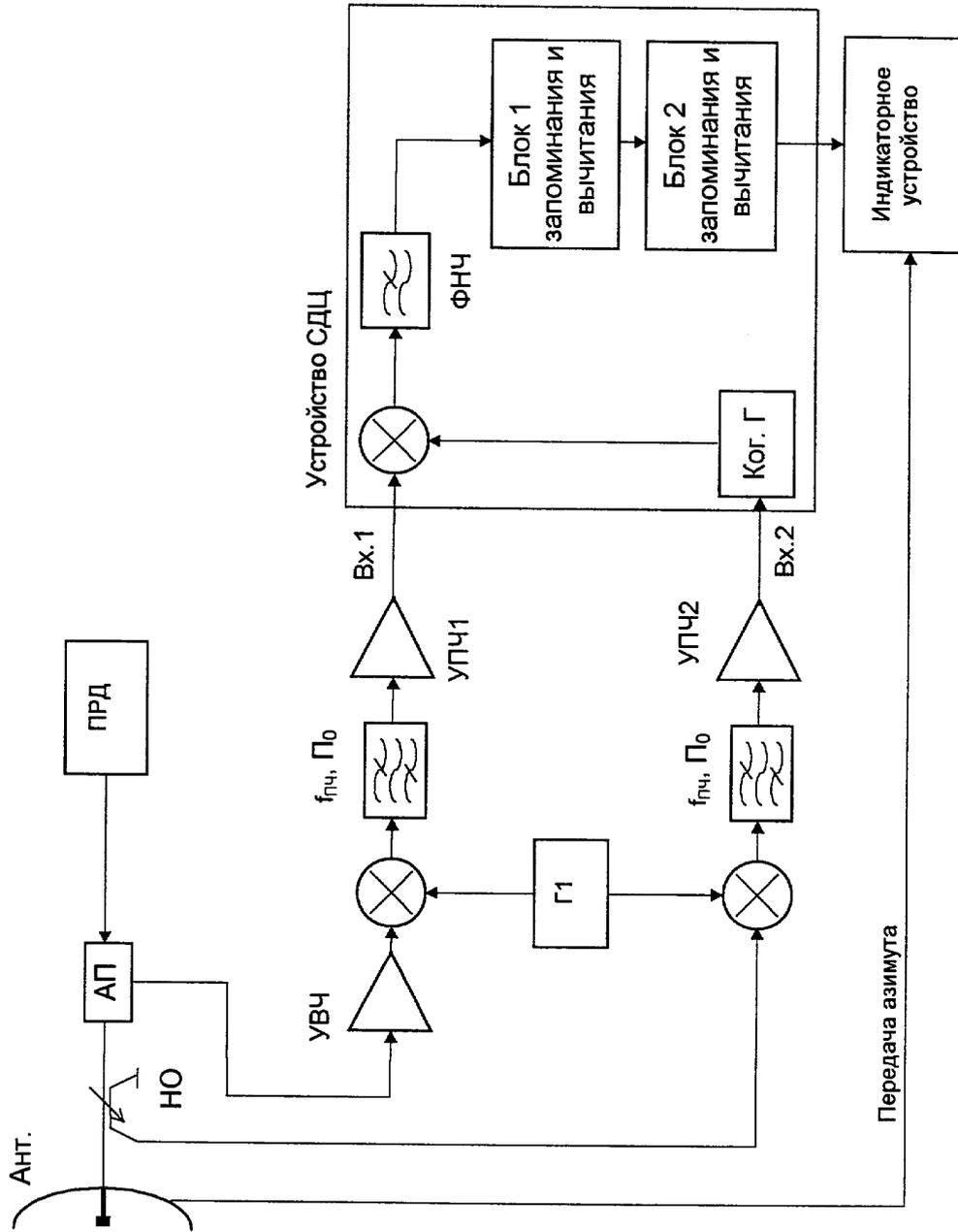
где k, n - номера дальностного и частотного каналов.

С блока формирования отметок целей 28 информационные пакеты, содержащие формуляры целевых отметок, поступают на индикаторное устройство 14, а также могут передаваться на выносной пункт управления или вышестоящий командный пункт.

Блок приведения фазы 23, блок спектрального анализа 25, блок пороговой обработки 26, блок экстремальной обработки 27, блок формирования отметок целей 28 могут быть выполнены на базе универсального вычислителя с программным обеспечением, реализующим указанные алгоритмы обработки сигналов.

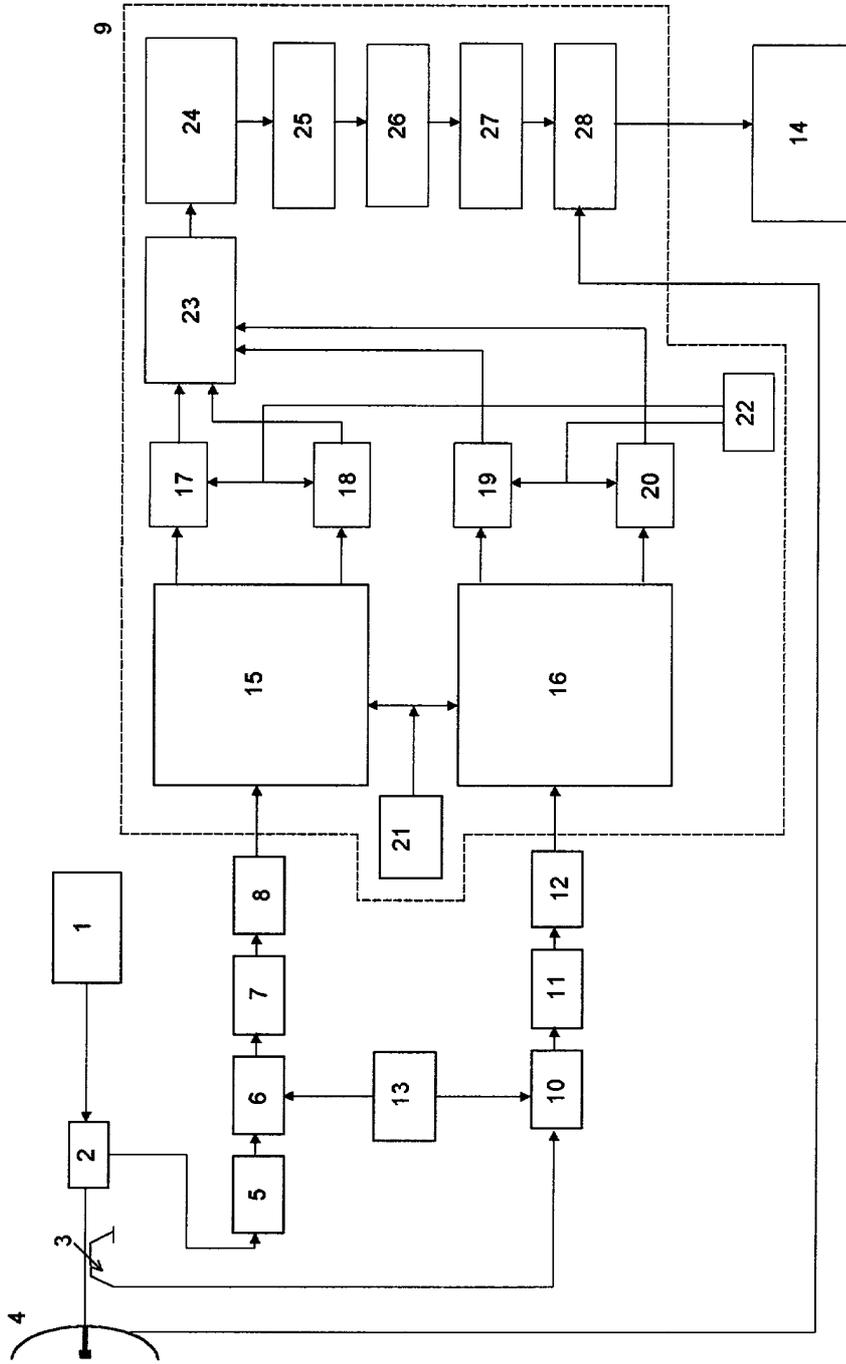
2002109 029

Когерентно-импульсная радиолокационная станция (прототип)



фиг. 1

Когерентно-импульсная радиолокационная станция



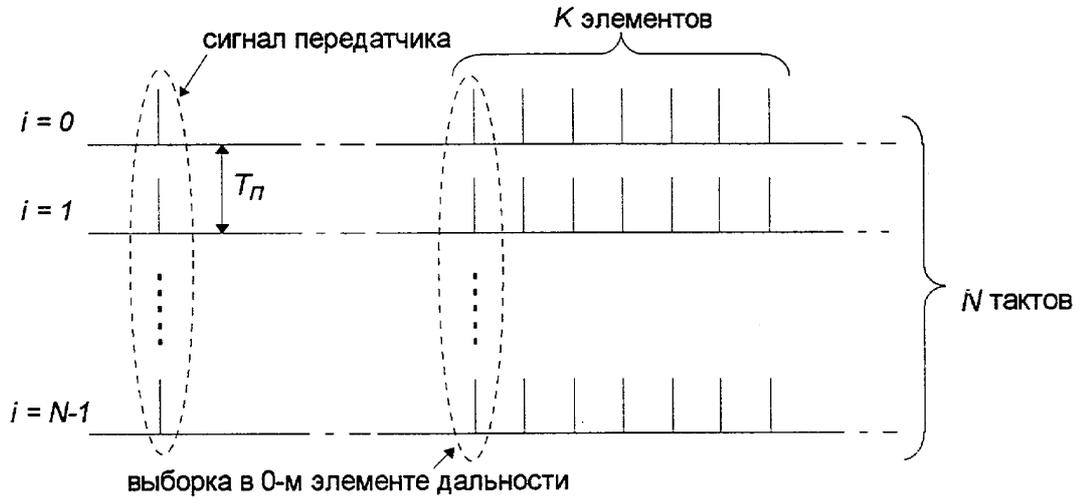
фиг. 2

Авторы: Г.П. Слукин, А.А. Кузнецов,
И.В. Крючков, С.И. Нефедов,
В.Ю. Шустиков, В.А. Бутько,
П.В. Воробьев

Handwritten signature

Заявка

Когерентно-импульсная радиолокационная станция



фиг. 3

Авторы: Г.П. Слукин, А.А. Кузнецов,
И.В. Крючков, С.И. Нефедов,
В.Ю. Шустиков, В.А. Бутько,
П.В. Воробьев