



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2014153686/07, 29.12.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
29.12.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 29.12.2014

(45) Опубликовано: 10.04.2016 Бюл. № 10

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: КОВАЛЕНКО Н.А. Методы подповерхностной радиолокации для обнаружения людей за непрозрачными средами. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2011, выпуск 9, т.3, с.49-55. RU 2535302 C1, 10.12.2014. RU 2225990 C2, 20.03.2004. SU 1307386 A, 30.04.1987. US 4236159 A1, 25.11.1980. EP 1426782 A2, 09.06.2004. US 7423961 B2, 09.09.2008.

Адрес для переписки:

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

(72) Автор(ы):

Борзов Андрей Борисович (RU),
Лихоеденко Андрей Константинович (RU),
Серегин Григорий Михайлович (RU),
Сучков Виктор Борисович (RU),
Хохлов Валерий Константинович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (МГТУ им. Н.Э. Баумана) (RU)

(54) РАДИОЛОКАЦИОННЫЙ ПЕЛЕНГАТОР ЛОКАЛИЗОВАННЫХ ОБЪЕКТОВ

(57) Реферат:

Изобретение относится к радиолокационным пеленгаторам запреградных объектов. Достижимый технический результат - повышение точности пеленгации локализованного слабоконтрастного объекта на фоне распределенной в пространстве помехи и обеспечение запреградного действия по локализованному объекту. Указанный результат достигается за счет того, что радиолокационный пеленгатор локализованных объектов содержит излучатель, передающую антенну, две приемные антенны, два приемных модуля, коррелятор для

оценки взаимно корреляционной функции, исполнительное устройство, при этом вторая приемная антенна выполнена подвижной относительно первой и расположена на

расстоянии от нее $d/\lambda_0 = 5$,

где d - расстояние между приемными антеннами, $\lambda_0 = 0,18$ м - средняя длина волны, при этом излучатель выполнен в виде генератора сверхкороткого импульсного излучения. 5 ил.

RU 2 580 830 C1

RU 2 580 830 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2014153686/07, 29.12.2014**(24) Effective date for property rights:
29.12.2014

Priority:

(22) Date of filing: **29.12.2014**(45) Date of publication: **10.04.2016** Bull. № 10

Mail address:

**105005, Moskva, ul. 2-aja Baumanskaja, 5, MGTU
im. N.E. Baumana, TSentr zashchity intellektualnoj
sobstvennosti, dlja KHalatovoj E.S.**

(72) Inventor(s):

**Borzov Andrej Borisovich (RU),
Likhodenko Andrej Konstantinovich (RU),
Seregin Grigorij Mikhajlovich (RU),
Suchkov Viktor Borisovich (RU),
KHokhlov Valerij Konstantinovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe bjudzhetnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
professionalnogo obrazovanija "Moskovskij
gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet imeni
N.E. Baumana (MGTU im. N.E. Baumana) (RU)**

(54) **RADAR DIRECTION FINDER OF LOCALISED OBJECTS**

(57) Abstract:

FIELD: radar and radio navigation.

SUBSTANCE: invention relates to radar direction finders of under armour objects. Technical result is achieved by the fact that radar direction finder of localised objects comprises a radiator, a transmitting antenna, two receiving antennae, two receiving modules, a correlator for evaluation of cross-correlation function, actuator, the second receiving antenna is movable relative to the first and is located at some distance from

it $d/\lambda_0=5$, where d is the distance between receiving antennae, $\lambda_0=0.18$ m is the average wave length, the radiator is in form of a generator of ultra-short pulse radiation.

EFFECT: high accuracy of direction-finding localised low-contrast object on the background of distributed in space interference and provision of after-penetration effect at localised object.

1 cl, 5 dwg

Изобретение относится к ближней локации и может быть использовано в информационно-измерительных средствах и системах, работающих в режимах активной пеленгации локализованных объектов, на фоне распределенных в пространстве помех.

5 Существующие в настоящее время автономные информационные системы (АИС) (акустические с широкополосными сигналами и радиолокационные системы миллиметрового диапазона длин волн) не позволяют пеленговать объекты, находящиеся за преградами на фоне распределенных в пространстве помех на малых расстояниях. Также возникает проблема формирования узких диаграмм направленности приемо-передающих трактов в ближней зоне.

10 Аналогом предлагаемого устройства является пеленгатор широкополосных сигналов с временной взаимокорреляционной обработкой сигналов Автономные информационные и управляющие системы (см. [1] Труды кафедры «Автономные информационные и управляющие системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана / под ред. А.Б. Борзова. М.: ООО НИЦ« Инженер», ООО «Онико-М», 2011. Т. 4, стр. 216), содержащий приемные антенны; 15 фильтры; усилители; компараторы; аналоговые ключи; сумматоры; интеграторы; детектор; схемы «И», «ИЛИ», «НЕ».

В пеленгаторе реализуются функциональные односторонние преобразования сигналов вида:

$$20 \quad x(t) = f[\xi(t)] = \frac{1}{2}[1 + \text{sign}\xi(t)];$$

$$y(t) = f[\eta(t)] = \frac{1}{2}[1 + \text{sign}\eta(t)];$$

выраженные через знаковые функции

$$25 \quad \text{sign}\xi(t) = \begin{cases} 1 & \text{при } \zeta(t) > 0; \\ 0 & \text{при } \zeta(t) = 0; \\ -1 & \text{при } \zeta(t) < 0. \end{cases}$$

30 Недостатком данного устройства является невозможность проведения используемых логических операций для сверхширокополосных сигналов субнаносекундного диапазона локаторов с сверхкороткими импульсами (СКИ).

Наиболее близким по технической сущности к разрабатываемому устройству является радиолокационный пеленгатор локализованных объектов, содержащий передатчик, антенну в виде однополосного волнового моноимпульсного облучателя, приемник, 35 регистратор (см. Коваленко Н.А. Методы подповерхностной радиолокации для обнаружения людей за непрозрачными средами, ж. Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2011, выпуск 9, т. 3 стр. 49-55).

40 Недостатком данного устройства является невозможность формирования узких диаграмм направленности приемо-передающего радиолокационного тракта, низкая точность пеленгации локализованного малоконтрастного объекта на фоне распределенной помехи и невозможность запреградного действия, которое может быть реализовано в субнаносекундном диапазоне СКИ.

45 Задачей изобретения является повышение точности пеленгации локализованного слабоконтрастного объекта на фоне распределенной в пространстве помехи и обеспечение запреградного действия по локализованному объекту. Для реализации поставленной задачи в предлагаемом радиолокационном пеленгаторе локализованных объектов, содержащем излучатель, передающую антенну, приемную антенну, приемный модуль, исполнительное устройство, введены вторая приемная антенна, второй

приемный модуль и коррелятор для оценки взаимно корреляционной функции, при этом обе приемные антенны выполнены сверхширокополосными, вторая приемная антенна выполнена подвижной относительно первой и расположена на расстоянии от

нее $d/\lambda_0 = 5$,

где d - расстояние между приемными антеннами, $\lambda_0 = 0,18$ м - средняя длина волны, а излучатель выполнен в виде генератора сверхкороткого импульсного излучения.

Изобретение поясняется чертежом, где изображены:

- на фиг. 1 - функциональная схема двухканального радиолокационного пеленгатора,
- на фиг. 2 - форма излучаемого импульса в излучателе сверхкоротких импульсов - распределение амплитуды излучаемого сверхкороткого импульса с формой 1-й производной функции Гаусса,
- на фиг. 3 - спектр периодической последовательности сверхкоротких импульсов,
- на фиг. 4 - схема, поясняющая работу приемной части двухканального пеленгатора,

где d - расстояние между фазовыми центрами приемных антенн A_1 и A_2 , $\{\zeta(t)\}$, $\{\eta(t)\}$ - реализации сигналов на входах тракта обработки сигналов.

- на фиг. 5 - нормированная диаграмма направленности двухканального пеленгатора.

Радиолокационный пеленгатор локализованных объектов (фиг. 1) содержит передающую антенну 1, приемные антенны 2.1 и 2.2, излучатель 3 сверхкороткого импульсного излучения, выполненного на радиолокационном приемопередатчике ИС «Импульс», интегрированном на одном кристалле, приемные модули 4.1 и 4.2, блок 5 корреляционной обработки, исполнительное устройство 6.

Излучатель 3 генерирует сверхкороткий импульс наносекундного диапазона, который поступает на передающую антенну 1. Антенна 1, расположенная на границе раздела двух сред, зондирует подповерхностный объект. Зондирующие сигналы, облучающие объект, отражаются обратно им и поступают на приемные антенны 2.1 и 2.2. Далее сигналы от обеих антенн поступают в приемные модули 4.1 и 4.2, где регистрируется результирующий сигнал: исследуемый и помехи.

В двухканальном пеленгаторе используется излучатель сверхкороткого импульсного (СКИ) минирадар типа «Минирадар-МСР», выполненного на радиолокационном приемопередатчике ИС «Импульс», интегрированном на одном кристалле.

Сверхширокая полоса частот передаваемых импульсов дает уникальные способности по прохождению через препятствия и высокую точность. На один метр дистанции время распространения сигнала (до цели и обратно) составляет примерно 6,6 наносекунд.

«Минирадар-МСР» использует сверхкороткие импульсы с формой 1-й производной функции Гаусса (фиг. 1) и длительностью менее 1 нс в частотном диапазоне от 0,5 до 3 ГГц. Это позволяет ему достигать высокого пространственного разрешения с возможностью работы как на коротких, так и на больших расстояниях. Для рассматриваемой периодической с периодом $T_{\text{и}} = 50$ МГц последовательности СКИ импульсов (фиг. 3) центральная частота спектра составляет $f_0 = 1,6$ ГГц, полоса по уровню

-20 дБ $\Delta f = 1,6$ ГГц ($f_{\text{Н}} = 0,8$ ГГц, $f_{\text{В}} = 2,4$ ГГц), относительная ширина полосы $\alpha = \Delta f / f_0 = 1$,

средняя длина волны $\lambda_0 = 0,18$ м. В системах с двухэлементной антенной (фиг. 4) с широкополосными сигналами на входе возможно формирование диаграммы направленности (ДН) [1].

На основании того, что излучается периодическая последовательность импульсов

с периодом $T_{и}$, описываемых нечетной функцией (фиг. 2), реализацию изучаемого сигнала можно записать:

$$x(t) = \sum_{k=-m}^{k=m} X_k \sin(\omega_k t + \gamma_k), \quad (1)$$

$$\omega_k = \omega_0 + k\Delta\omega,$$

где: X_k - амплитуда; ω_k - частота гармоники; ω_0 - центральная частота; $\Delta\omega$ - шаг по

частоте, определяемый периодом повторения импульсов $\Delta\omega = \frac{2\pi}{T_{и}}$; γ_k - фаза k-ой

гармоники; $k=0, \pm 1; \pm 2, \dots, \pm m$; $2m$ - количество гармоник в практической полосе зондирующего сигнала; t - текущее время.

На основании принятых допущений, сигналы $\{\xi_i^c(t)\}$ и $\{\eta_i^c(t)\}$ на выходах антенн от i-го точечного элементарного отражателя при соотношении фронта волны к середине раскрыва (фиг. 4) в комплексной форме могут быть представлены в виде:

$$\begin{aligned} \xi_i^c(t) &= \sum_k V_{ki}^c \exp\left[j(\omega_{ki} t + \Delta\varphi_{ki}/2 + \alpha_{ki}^c + \gamma_k)\right], \\ \eta_i^c(t) &= \sum_k V_{ki}^c \exp\left[j(\omega_{ki} t - \Delta\varphi_{ki}/2 + \alpha_{ki}^c + \gamma_k)\right], \end{aligned} \quad (2)$$

где: $\Delta\varphi_{ki} = 2\pi \frac{d}{\lambda_k} \sin\theta_i$; $\lambda_k = \frac{C2\pi}{\omega_k}$ - длина волны электромагнитных колебаний; d -

расстояние между приемными антеннами (фиг. 2); $k=0, \pm 1; \pm 2, \dots, \pm m$; V_k^c - амплитуда;

α_{ki}^c - случайные начальные фазы на частоте ω_k от i-го точечного отражателя,

определяемые дальностью до отражателя. Считая элементарные точечные источники независимыми, результирующий сигнал на выходах антенн может быть записан в виде:

$$\begin{aligned} \xi^c(t, \theta_c) &= \sum_i \sum_k V_{ki}^c \exp\left[j(\omega_{ki} t + \Delta\varphi_{ki}/2 + \alpha_{ki}^c + \gamma_k)\right], \\ \eta^c(t, \theta_c) &= \sum_i \sum_k V_{ik}^c \exp\left[j(\omega_{ki} t - \Delta\varphi_{ki}/2 + \alpha_{ki}^c + \gamma_k)\right], \end{aligned} \quad (3)$$

где индексы k характеризуют частоты координатных функций, а индексы i - номера элементарных точечных источников сигнала.

Для распределенной в пространстве помехи, представленной точечными элементарными отражателями, выражения для $\xi^n(t)$ и $\eta^n(t)$ будут аналогичны равенствам (3).

Считая сигналы и помехи некоррелированными, результирующие реализации на выходах антенн представим в виде:

$$\begin{aligned} \xi(t, \theta_c, \theta_n) &= \xi^c(t, \theta_c) + \xi^n(t, \theta_n), \\ \eta(t, \theta_c, \theta_n) &= \eta^c(t, \theta_c) + \eta^n(t, \theta_n), \end{aligned}$$

где индексами s и n отмечены углы визирования сигнала объекта и помехи

Причем средние значения квадрата амплитуды $D_k = M[V_k^2]$ случайных амплитуд спектральных составляющих V_k будут:

$$D_k = D_k(V_k^c) + D_k(V_k^n), \quad (4)$$

т.е

$$D_\zeta = D_\eta = \sum_{k=-m}^{k=m} D_k^c + \sum_{k=-m}^{k=m} D_k^n,$$

Поскольку процессы $\{\zeta(t)\}$ и $\{\eta(t)\}$ центрированы, то нормированная взаимокорреляционная функция на выходах антенн A_1 и A_2 будет:

$$r_{\zeta\eta}(\tau, \theta_c, \theta_n) = \frac{C_{\zeta\eta}(\tau, \theta_c, \theta_n)}{D_\eta(\theta_c, \theta_n)} = \frac{M[\zeta(t, \theta_c, \theta_n)\eta^*(t+\tau, \theta_c, \theta_n)]}{M[\eta^2(\theta_c, \theta_n)]}, \quad (5)$$

где: θ_c и θ_n - углы визирования соответственно объекта и помехи; τ - величина сдвига, * - означает комплексное сопряжение; $M[\]$ - оператор математического ожидания.

На основании статистической независимости случайных фаз α_{ki} и выражений (3)-(5), нормированная взаимокорреляционная функция сигналов на выходах антенн 2.1 и 2.2 будет:

$$r_{\zeta\eta}(\tau, \theta_c, \theta_n) = \frac{\sum_i \sum_{k=-m}^{k=m} [D_{ki}^c(\theta_c) + D_{ki}^n(\theta_n)] \cos[\omega_{ki}\tau - \Delta\varphi_{ki}(\theta)]}{\sum_i \sum_{k=-m}^{k=m} [D_{ki}^c(\theta_c) + D_{ki}^n(\theta_n)]}. \quad (6)$$

Отношение сигнал/помеха по мощности запишется как:

$$a^2 = \frac{\sum_i \sum_{k=-m}^{k=m} D_{ki}^c}{\sum_i \sum_{k=-m}^{k=m} [D_{ki}^c(\theta_c) + D_{ki}^n(\theta_n)]}.$$

Тогда при нулевом сдвиге $\tau=0$ нормированная взаимная корреляционная функция сигналов на выходах антенн 2.1 и 2.2 (фиг. 4) будет иметь вид:

$$r_{\zeta\eta}(\theta_c, \theta_n) = \frac{\sum_i F_i^2 \sum_{k=-m}^{k=m} [D_{ki}^c(\theta_c) + D_{ki}^n(\theta_n)] \cos[\Delta\varphi_{ki}(\theta)]}{\sum_i F_i^2 \sum_{k=-m}^{k=m} [D_{ki}^c(\theta_c) + D_{ki}^n(\theta_n)]}. \quad (8),$$

где F - функция направленности антенны на i элементарный источник.

Вычисляя в тракте обработки сигналов (корреляторе 5) двухканального пеленгатора с широкополосными сигналами нормированную взаимную корреляционную функцию реализаций сигналов на выходах антенн, возможно формировать функцию направленности пеленгатора.

Для оценок потенциальной точности пеленгации локализованных излучателей на фоне распределенных в пространстве помех по полученным зависимостям (7) и (8) на ЭВМ по были рассчитаны нормированные взаимные корреляционные функции сигналов на выходах антенн 2.1 и 2.2 (в функции от угла пеленга объекта θ_c при различных

значениях безразмерных параметров a^2 , d/λ_0 , $\alpha = \Delta\omega/\omega_0$ (где λ_0 - длина волны,

соответствующая средней частоте энергетического спектра; α и $\alpha = \Delta\omega/\omega_0$ $\Delta\omega$ -

относительная и абсолютная ширина полосы энергетического спектра; a^2 - отношение сигнал/помеха по мощности).

Модель помехи была представлена точечными излучателями, равномерно распределенными в горизонтальной плоскости с шагом по углу $\Delta\theta=5$ град. в пределах диаграммы направленности $\Delta_{0,1}$ при $\Delta_{0,5}=60$ град. Объект представлялся точечным отражателем, расположенным в той же плоскости, что и помеха.

На фиг. 5 приведена рассчитанная нормированная диаграмма направленности двухканального пеленгатора с широкополосными сигналами.

Как следует из фиг. 5 и (8), используя взаимную корреляционную функцию сигналов на выходах приемных модулей, возможно осуществлять пеленгацию локализованных объектов на фоне распределенных в пространстве помех.

На выходе блока корреляционной обработки 5 (фиг. 2) вычисляется оценка нормированной взаимокорреляционной функции центрированных сигналов с выходов приемных блоков 4.1 и 4.2:

$$r_{xy}(t, \tau) = \frac{1}{T - \tau} \int_t^{t+\tau} x(t) y(t + \tau) dt \quad (9)$$

$$\frac{1}{T} \sqrt{\int_t^{t+\tau} x^2(t) dt} \frac{1}{T} \sqrt{\int_t^{t+\tau} y^2(t) dt}$$

где T - интервал времени усреднения, $x(t)$ и $y(t)$ - центрированные реализации сигналов на выходах приемных модулей (4.1 и 4.2, фиг 1).

Величина сдвига τ , при котором взаимная корреляционная функция (9) достигает экстремума, характеризует угол пеленга θ локализованного объекта.

Как следует из фиг. 4

$$\frac{\Delta l \sin \theta}{C} = \tau,$$

C - скорость света.

Откуда оценка угла пеленга объекта

$$\theta = \arcsin C\tau/\Delta l.$$

Таким образом, выполнение радиолокационного пеленгатора двухканальным с корреляционной обработкой позволяет повысить точность пеленгации локализованного слабоконтрастного объекта на фоне распределенной в пространстве помехи и обеспечение запреградного действия по локализованному объекту.

Формула изобретения

Радиолокационный пеленгатор локализованных объектов, содержащий излучатель, передающую антенну, приемную антенну, приемный модуль, исполнительное устройство, отличающийся тем, что в него введены вторая приемная антенна, второй приемный модуль, и коррелятор для оценки взаимно корреляционной функции, при этом обе приемные антенны выполнены сверхширокополосными, вторая приемная антенна выполнена подвижной относительно первой и расположена на расстоянии от

нее $d/\lambda_0 = 5$, где d - расстояние между приемными антеннами, $\lambda_0 = 0,18$ м - средняя длина волны, при этом излучатель выполнен в виде генератора сверхкороткого импульсного излучения.

5

10

15

20

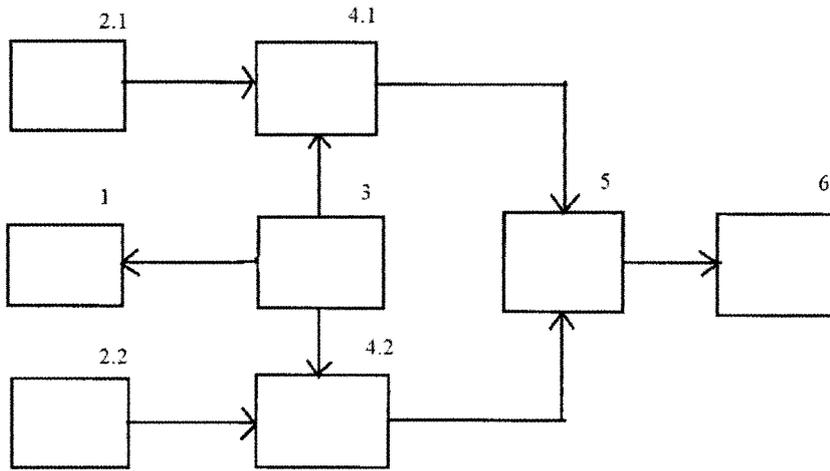
25

30

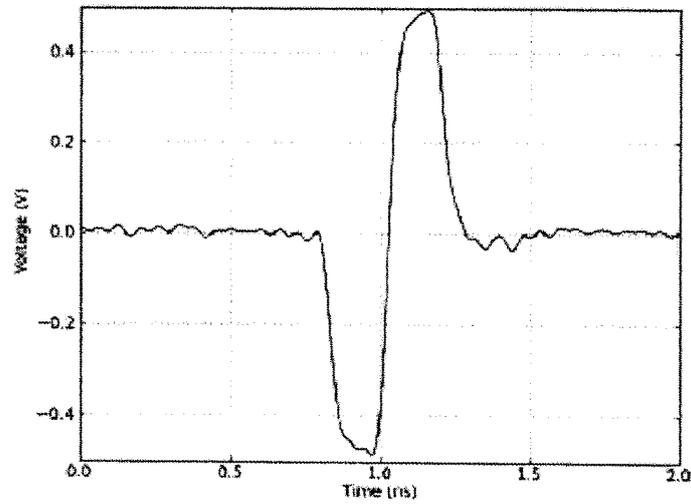
35

40

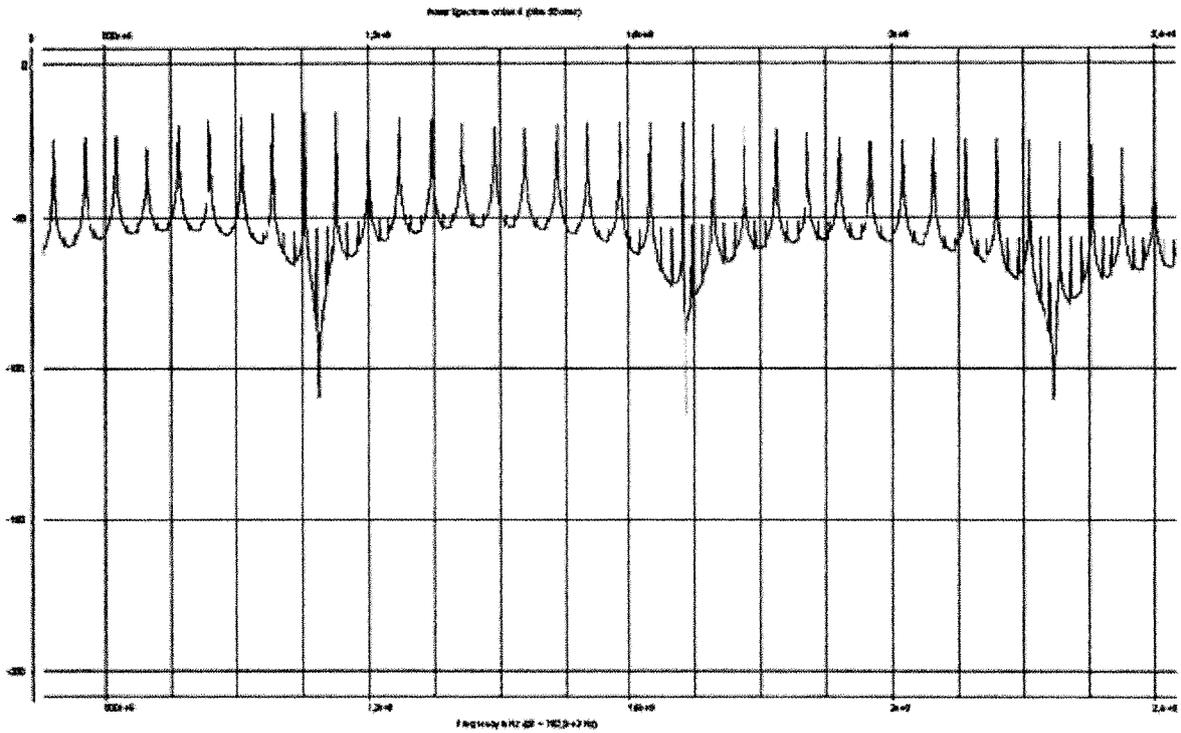
45



Функциональная схема двухканального радиолокационного пеленгатора
Фиг.1

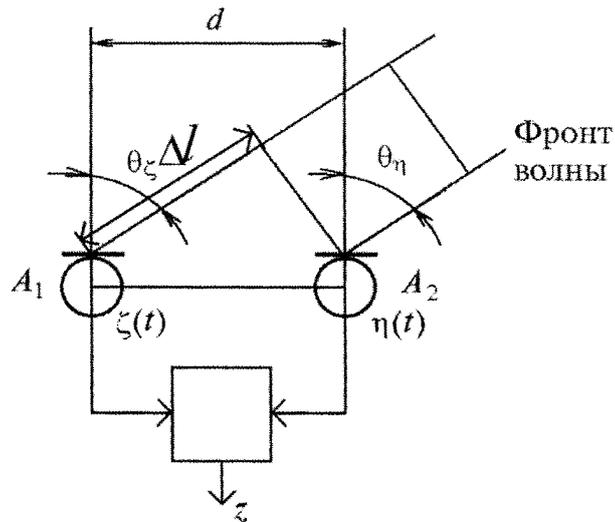


Форма излучаемого импульса
Фиг.2



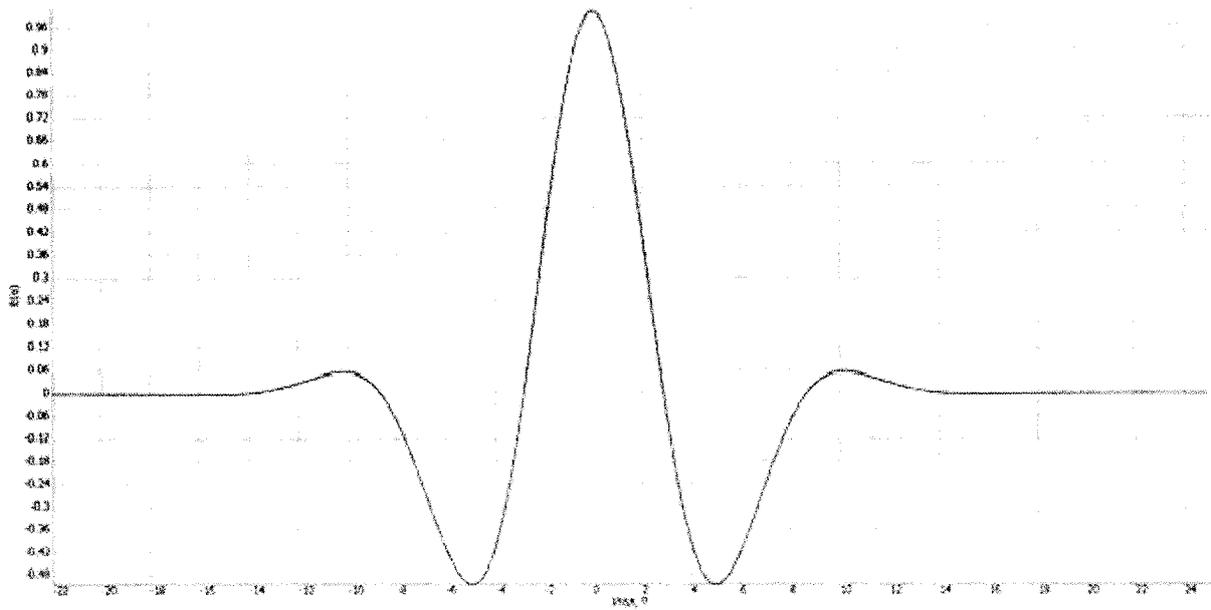
спектр периодической последовательности сверхкоротких импульсов

Фиг.3



схема, поясняющая работу приемной части двухканального пеленгатора, где d – расстояние между фазовыми центрами приемных антенн A_1 и A_2 , $\{\zeta(t)\}$, $\{\eta(t)\}$ – реализации сигналов на входах тракта обработки сигналов.

Фиг.4



—показана нормированная диаграмма направленности двухканального пеленгатора

при $d/\lambda_0 = 5, \alpha = 1, a^2 = 5$
Фиг.5