



УКРАЇНА

(19) UA (11) 13422 (13) A

(51) G 01 S 17/06

ДЕРЖАВНЕ
ПАТЕНТНЕ
ВІДОМСТВООПИС ДО ПАТЕНТУ
НА ВІНАХІДбез проведення експертизи по суті
на підставі Постанови Верховної Ради України
№ 3769-XII від 23.XII. 1993 р.Публікується
в редакції заявника

(54) СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ КУТА МІСЦЯ МАЛОВИСОТНОЇ ЦІЛІ

1

(21) 96114138

(22) 04.11.96

(24) 16.12.96

(46) 28.02.97. Бюл. № 1

(47) 16.12.96

(56) Справочник по радиолокации. Под ред. М. Скольника. Пер. с англ. (в 4 томах) под общей ред. К.Н. Трофимова. Т. 4. Радиолокационные станции и системы. Под ред. М. М. Вейсбена. М., Сов. радио, 1978, с. 68, 69, рис. 1 (прототип).

(72) Жуков Сергій Анатолійович, Бахвалов Борис Миколайович, Родін Олександр Валерійович

(73) Київський університет ім. Тараса Шевченка (UA)

(57) Способ измерения угла места маловысотной цели, заключающийся в излучении периодических зондирующих сигналов с помощью параболической зеркальной антенны с облучателем в виде вибратора с контррефлектором, приеме и индикации эхо-сигналов цели, отличающийся тем, что ось параболического зеркала антенны направляют горизонтально в сторону цели, излучают несинусоидальные импульсные сигналы

2

наносекундной длительности без несущей частоты, перемещают вибратор облучателя вдоль оси антенны между зеркалом и установленным в фокусе параболоида контррефлектором, разделяют положительные и отрицательные видеоимпульсы эхо-сигнала на выходе приемника, задерживают положительные импульсы сигнала на время

$$t_3 = \frac{2d}{c} \cdot \frac{h}{\sqrt{h^2 + d^2}}$$

и вычитают из них отрицательные импульсы сигнала, а угол места цели определяют по соотношению

$$\theta = \arctg \frac{d}{h}$$

в момент, когда результирующий сигнал будет максимальным,

где t_3 – время задержки положительных импульсов сигнала, d – расстояние от вибратора до контррефлектора, h – высота подъема антенны над землей, θ – угол места цели, c – скорость света.

Изобретение относится к области радиолокации и может быть использовано в наземных РЛС с несинусоидальными импульсными сигналами наносекундной длительности для измерения углов места маловысотных малоразмерных целей.

Известен фазовый способ измерения угла места цели [1]. Способ заключается в излучении зондирующего сигнала в виде радиоимпульса на несущей частоте микроволнового диапазона, приеме эхо-сигналов цели двумя разнесенными по высоте над

(19) UA (11) 13422 (13) A

землей антеннами в двух каналах приема и измерении сдвига фаз φ принятых сигналов. При этом угол места цели определяют по этому сдвигу фаз и известным значениям длины волны и разнота антенн по высоте.

Недостатком этого аналога является то, что этому фазовому способу присуща неоднозначность, так как известные фазометры могут измерять сдвиг фаз с неопределенностью $\pm 2\pi n$, где n - целое число. В тех случаях, когда сдвиг фаз сигналов цели окажется больше 2π , определение угла места цели становится невозможным.

Другим недостатком этого способа является то, что для его реализации требуется использовать две разнесенные антенны и два одинаковых приемника.

Третий недостаток аналога состоит в том, что этот способ не пригоден для измерения малых углов места в секторе менее, чем угломестная ширина диаграммы направленности антенны, из-за вредного влияния отраженных от земли эхо-сигналов цели. Это влияние приводит к тому, что фазы результирующих сигналов верхней и нижней антенны в секторе малых углов места окажутся почти одинаковыми и теряют информацию об угле места цели.

В качестве прототипа использован амплитудный способ измерения угла места цели, использованный в РЛС определения высоты с качающейся диаграммой направленности [2].

Способ-прототип заключается в качении по углу места зеркальной приемопередающей антенны с узкой диаграммой направленности в вертикальной плоскости, излучении зондирующих сигналов в виде периодической последовательности радиоимпульсов микросекундной длительности на несущей частоте микроволнового диапазона, приеме и индикации эхо-сигналов цели. При этом угол места цели определяют по положению антенны в момент приема эхо-сигнала цели, а отметка цели высвечивается на индикаторе дальность места. В качестве облучателя зеркальной антенны в прототипе можно использовать, например, вибраторный облучатель с контррефлектором в виде плоского металлического диска [3]. Контррефлектор, размер которого больше длины вибратора, обычно устанавливают на фокусе параболического зеркала антенны, а расстояние от вибратора до контррефлектора выбирают равным четверти длины волны $\lambda/4$. Условно будем полагать, что в способе прототипа использована такая антенна.

Недостатком прототипа является то, что для реализации этого способа необходима

антенна с узкой диаграммой направленности в угломестной плоскости, то есть требуется громоздкая антенна с большим вертикальным размером.

Другой недостаток прототипа состоит в наличии технически сложной операции качения громоздкой антенны по углу места.

Третий недостаток прототипа состоит в том, что этот способ не позволяет измерять малые углы места в секторе менее угломестной ширины диаграммы направленности антенны из-за вредного влияния отраженных от земли эхо-сигналов цели. Это влияние приводит к большим ошибкам и не позволяет измерять углы места маловысотных целей в этом секторе.

В основу изобретения поставлена задача устранения указанных недостатков аналога и прототипа и обеспечение возможности измерения малых углов места маловысотной цели с помощью одной антенны сравнительно небольших размеров, а также улучшение отношения сигнал/шум в канале приема.

Поставленная задача решается тем, что в способе измерения угла места маловысотной цели, заключающемся в излучении периодических зондирующих сигналов с помощью параболической зеркальной антенны с облучателем в виде вибратора с контррефлектором, приеме и индикации эхо-сигналов цели согласно изобретению ось параболического зеркала антенны направляют горизонтально в сторону цели, излучают несинусоидальные импульсные сигналы наносекундной длительности без несущей частоты, перемещают вибратор излучателя вдоль оси антенны между зеркалом и установленным в фокусе параболоида контррефлектором, разделяют положительные и отрицательные видеоимпульсы эхо-сигнала на выходе приемника, задерживают положительные импульсы сигнала на время

$$t_3 = \frac{2d}{c} \cdot \frac{h}{\sqrt{h^2 + d^2}}, \quad (1)$$

и вычитывают из них отрицательные импульсы сигнала, а угол места цели определяют по соотношению

$$\theta = \arctg \frac{d}{h}, \quad (2)$$

в момент, когда результирующий сигнал будет максимальным,

где t_3 - время задержки положительных импульсов сигнала,

d - расстояние от вибратора до контррефлектора.

h – высота подъема антенны над землей,

θ – угол места цели,

c – скорость света.

При этом имевшаяся в прототипе операция качания антенны по углу места в предложенном способе исключена и нет необходимости использовать громоздкую антенну с узкой диаграммой направленности в угломестной плоскости. Следует иметь в виду, что при этом положительной полярностью считают полярность зондирующего импульса поля радиоволн, излучаемых вибратором облучателя антенны.

Техническая сущность предложенного способа поясняется рисунками на фиг. 1, 2, 3, 4. На фиг. 1 представлена упрощенная структурная схема РЛС, реализующей предложенный способ, схематически показаны зеркальная антенна с облучателем из вибратора и контррефлектора, схема запитки вибратора антенны фидерной линией, поверхность земли и лучи радиоволн от антенны до цели. На фиг. 2 представлены упрощенные эпюры зондирующего сигнала и эхо-сигналов цели вблизи антенны, на выходе приемника и на входе индикатора. На фиг. 3 представлена расчетная зависимость формы импульса сигнала на входе индикатора РЛС от расстояния d между вибратором и контррефлектором, а на фиг. 4 – зависимость максимальной амплитуды импульса сигнала на входе индикатора от угла места цели и положения вибратора d .

Пример реализации предложенного способа представлен на фиг. 1, где показана упрощенная структурная схема РЛС, реализующей этот способ. В состав этой РЛС входят следующие элементы: зеркало антенны 1 в виде параболоида вращения из проводящего материала (ось зеркала направлена горизонтально в сторону цели); вибратор облучателя антенны 2 длиной $l < \tau c$ (c – скорость света, τ – длительность зондирующего импульса), который перемещается вдоль оси антенны; контррефлектор облучателя антенны 3, установленный в фокусе параболического зеркала и выполненный в виде плоского металлического диска; фидерная линия 4 из двух коаксиальных кабелей одинаковой длины для запитки вибратора с концов по внутренним жилам этих кабелей; антенный переключатель 5, подключающий вибратор 2 к передатчику при передаче и к приемнику – при приеме сигналов; устройство перемещения вибратора вдоль оси антенны 6; датчик перемещения вибратора 7 (датчик переменного расстояния d между подвижным вибратором 2 и неподвижным

контррефлектором 3); передатчик несинусоидальных импульсных сигналов 8 в виде периодической последовательности с периодом T видеопульсов наносекундной длительности τ без несущей частоты; приемник таких сигналов 9; широкополосные диоды 10, 11, подключенные к выходу приемника 9 в противоположной полярности и разделяющие положительные и отрицательные импульсы эхо-сигналов; управляемая линия задержки 12, задерживающая положительные импульсы сигнала на время t_z , вход управления которой связан с выходом датчика перемещения вибратора 7 (время задержки t_z изменяется в зависимости от положения вибратора и определено формулой (1)); широкополосное устройство вычитания 13, вычитающее отрицательные импульсы сигнала с выхода диода 11 из положительных импульсов с выхода линии задержки 12; вычислитель угла места цели 14, вычисляющий по формуле (2) угол места θ по расстоянию d между вибратором 2 и контррефлектором 3 в момент, когда сигнал на выходе РЛС максимален (вход вычислителя 14 связан с датчиком расстояния d 7, а выход – с индикатором); и индикатор 15 для индикации принятого сигнала с выхода устройства вычитания 13, имеющий развертку по углу места θ .

Антенна, передатчик 8 и приемник 9 выполнены для излучения и приема несинусоидальных импульсных сигналов наносекундной длительности без несущей частоты. Такие элементы могут быть практически реализованы, так как физические основы и принципы построения их известны и описаны в литературе [4]. Управляемая линия задержки может быть выполнена в виде отрезка коаксиальной или полосковой линии, длину которого изменяют в соответствии с соотношением (1), а требуемая длина линии вполне приемлема для реализации. В процессе обзора вибратор 2 антенны целесообразно периодически перемещать от зеркала 1 до контррефлектора 3 и обратно и в соответствии с этим перемещением выполнить развертку по углу θ индикатора 15. Физическая сущность предложенного способа поясняется следующим. Зондирующий сигнал передатчика представляет собой периодическую последовательность коротких видеопульсов без несущей частоты с периодом $T > 2r_m/c$, где r_m – максимальная дальность цели, c – скорость света, длительность порядка 1 нс и менее и условно показан на фиг. 2а. Этот сигнал излучается вибратором 2 в виде коротких видеопульсов поля радиоволн без несущей частоты. Радиоволны

вибратора 2 отражаются от зеркала 1, а также от контррефлектора 3 и зеркала 1. В результате каждому импульсу вибратора 2 будет соответствовать два импульса, излучаемых антенной. В предложенном способе использовано известное свойство несинусоидальных импульсных сигналов изменять полярность импульса поля радиоволн при отражении от металлических поверхностей и земли [4]. Антенна будет излучать периодическую последовательность пары видеопульсов поля радиоволн, первый из которых будет отрицательным, а второй положительным как показано на фиг. 2б. Время запаздывания t_3 этих импульсов друг относительно друга зависит от расстояния d между вибратором 2 и контррефлектором 3 и определяется соотношением

$$t_3 = \frac{2d}{c} \cos \theta, \quad (3)$$

где θ - угловое направление излучения

Излученные антенной радиоволны распространяются от антенны до цели и обратно по следующим четырем возможным путям

- 1) антенна - цель - антенна;
- 2) антенна - цель - земля - антенна;
- 3) антенна - земля - цель - антенна;
- 4) антенна - земля - цель - земля - антенна.

Самым коротким будет первый путь. Второй и третий будут одинаковы по длине и время запаздывания импульса на них относительно импульса первого пути будет равно

$$t_3 = \frac{2d}{c} \sin \theta, \quad (4)$$

где h - высота подъема антенны над землей; θ - угол места цели. При каждом отражении радиоволн от земли или цели полярность импульса поля радиоволн будет изменяться на противоположную. В результате каждому зондирующему импульсу антенны будет соответствовать три импульса эхо-сигнала цели, два из которых соответствуют первому и четвертому путям и имеют полярность, противоположную зондирующему импульсу антенны, а импульс эхо-сигнала, соответствующий второму и третьему путям вместе, будет совпадать по полярности с зондирующим импульсом антенны.

Суть предлагаемого способа основана на том, чтобы подобрать такое расстояние d между вибратором 2 и контррефлектором 3 при котором выполняется условие

$$t_{31} = t_{32} \quad (5)$$

для направления θ в сторону цели, и обеспечить максимальное значение амплитуды импульса сигнала на входе индикатора 15 путем подходящего сложения импульсов при выполнении условия (5).

В каждом периоде следования антенна излучает два зондирующих импульса противоположной полярности, условно показанные на фиг. 2б, а эхо-сигнал цели вблизи антенны при выполнении условия (5) будет состоять из четырех импульсов, условно показанных на фиг. 2в (при невыполнении условия (5) эхо-сигнал вблизи антенны состоял бы из шести импульсов).

При приеме сигнала радиоволны отражаются от зеркала 1 и контррефлектора 3. В результате изменяется полярность некоторых импульсов, а количество импульсов в общем случае удваивается. При выполнении условия (5) эхо-сигнал на выходе приемника 9 будет выглядеть примерно так, как показано на фиг. 2, так как некоторые импульсы, совпадающие по времени прихода, сложатся. Положительные и отрицательные импульсы сигнала на выходе приемника 9 разделяют с помощью широкополосных диодов 10, 11, подключенных в противоположной полярности. После этого положительные импульсы задерживают с помощью линии задержки 12 на время $t_3 = t_{31} = t_{32}$, определяемое соотношением (1), и вычитают из них отрицательные импульсы сигнала с помощью широкополосного устройства вычитания 13.

В результате на выходе устройства вычитания сигнал (при выполнении условия (5)) будет выглядеть примерно так, как показано на фиг. 2д. Этот сигнал состоит из трех импульсов, первый из которых соответствует прямой радиоволне (первый путь), а второй почти в восемь раз превышает по амплитуде первый импульс. Найдя положение вибратора 2 d , при котором средний импульс эхо-сигнала цели на выходе устройства вычитания 13 будет максимальным, можно определить угол места цели θ по соотношению (2). Соотношения (1), (2) получены из (3), (4) при выполнении условия (5). Способ предназначен для измерения малых углов места маловысотных целей и не требует качания антенны по углу места. При этом рабочий угловый сектор будет

$$0 < \theta < \arctg \frac{f_a}{h}, \quad (6)$$

где f_a - фокусное расстояние параболического зеркала антенны.

О возможности реализации этого способа можно судить по расчетным графикам на фиг 3,4. На фиг 3 показаны форма импульсов (зависимость от времени t) сигнала на выходе индикатора 15 в зависимости от расстояния d между вибратором 2 и контррефлектором 3 при угле места цели $\theta = 1^\circ$. На фиг 4 показана зависимость амплитуды импульса сигнала на входе индикатора 15 от угла места цели θ и расстояния d . Эти расчеты выполнены для зондирующего сигнала с длительностью импульса $\tau = 1$ нс и антенны с вертикальным размером $L = 3$ м, фокусным расстоянием $f_a = 4$ м и контррефлектором размером 0,6 м. При этом полагалось, что полоса пропускания приемника была 1 ГГц, а высота подъема антенны над землей равнялась $h = 30$ м. Как видно из этих рисунков, при правильном выборе расстояния d от вибратора до контррефлектора амплитуда результирующего импульса сигнала на выходе существенно возрастает и сигнал может быть обнаружен на фоне собственных шумов приемника.

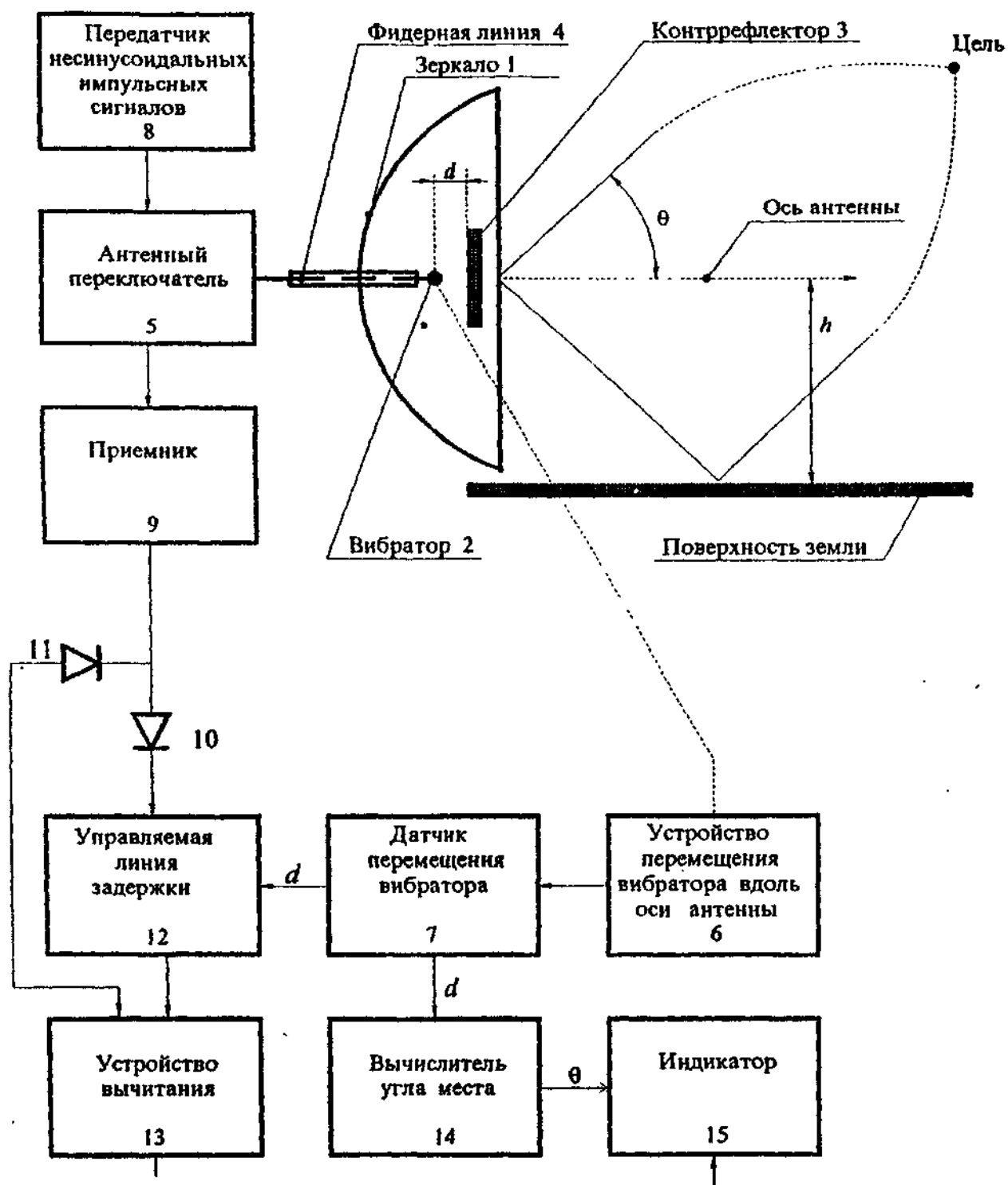
Предложенный способ позволяет определить угол места цели по максимуму сигнала на входе индикатора 15 и значительно улучшает отношение сигнал/шум в канале приема. При невыполнении условия (5) сигнал развалился бы на 12 импульсов малой амплитуды и был бы потерян в шумах приемника.

Для достижения положительного эффекта в предложенном способе используются отраженные от земли радиоволны, которые в прототипе обычно мешают измерять малые углы места и снижают точность измерений. Ось антенны следует направить горизонтально в сторону цели так как при этом дальность обнаружения маловысотных це-

лей будет больше, а также для того, чтобы эффективнее использовать отраженные от земли радиоволны. Для реализации способа целесообразно использовать радиоволны горизонтальной поляризации, так как они лучше отражаются от земли, чем при вертикальной поляризации. В способе принципиально необходимо использовать несинусоидальные импульсные сигналы в виде видеоимпульсов поля радиоволн наносекундной длительности без несущей частоты, так как способ основан на использовании специальных свойств таких сигналов, а обычные радиоимпульсные сигналы микроволнового диапазона такими свойствами не обладают.

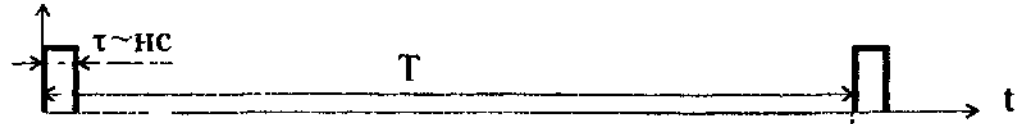
Таким образом предложенный способ может быть практически реализован, а отмеченные выше отличительные признаки являются существенными и принципиально необходимы для реализации способа.

В предложенном способе не требуется разнесенной антенной системы и отсутствует неоднозначность, присущая фазовому способу-аналогу, а также не требуется имевшаяся в прототипе операция качания антенны по углу места. Предложенное техническое решение обеспечивает измерение малых углов над землей маловысотной малоразмерной цели с помощью одной антенны с широкой диаграммой направленности в угломестной плоскости и сравнительно небольшими размерами, а также существенно улучшает отношение сигнал/шум в канале приема. Это представляет значительное преимущество по сравнению со способом-прототипом, в котором для измерения угла места требуется громоздкая антенна с большим вертикальным размером и операция качания такой антенны в угломестной плоскости.

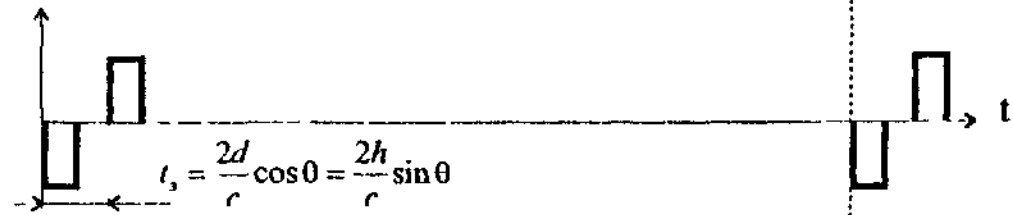


Фиг. 1

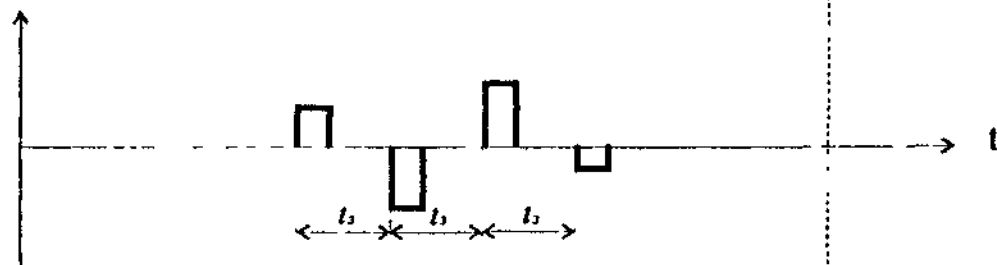
а) Зондирующий сигнал вибратора



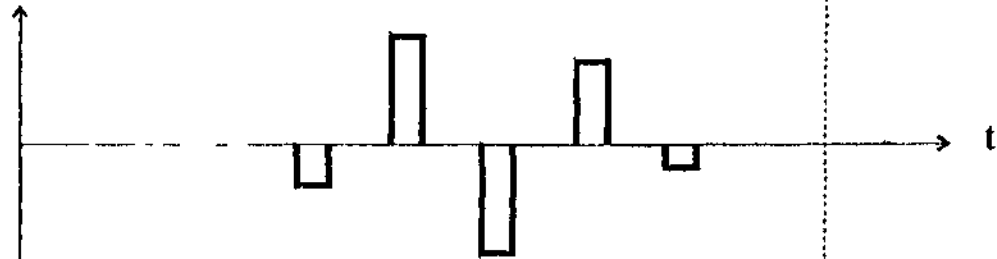
б) Излучаемый сигнал в сторону цели



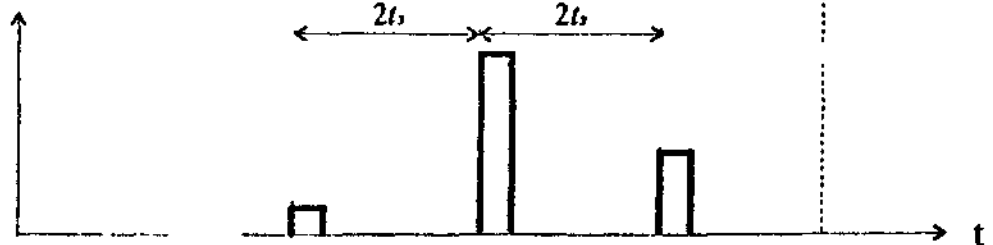
в) Эхо-сигнал цели вблизи антенны



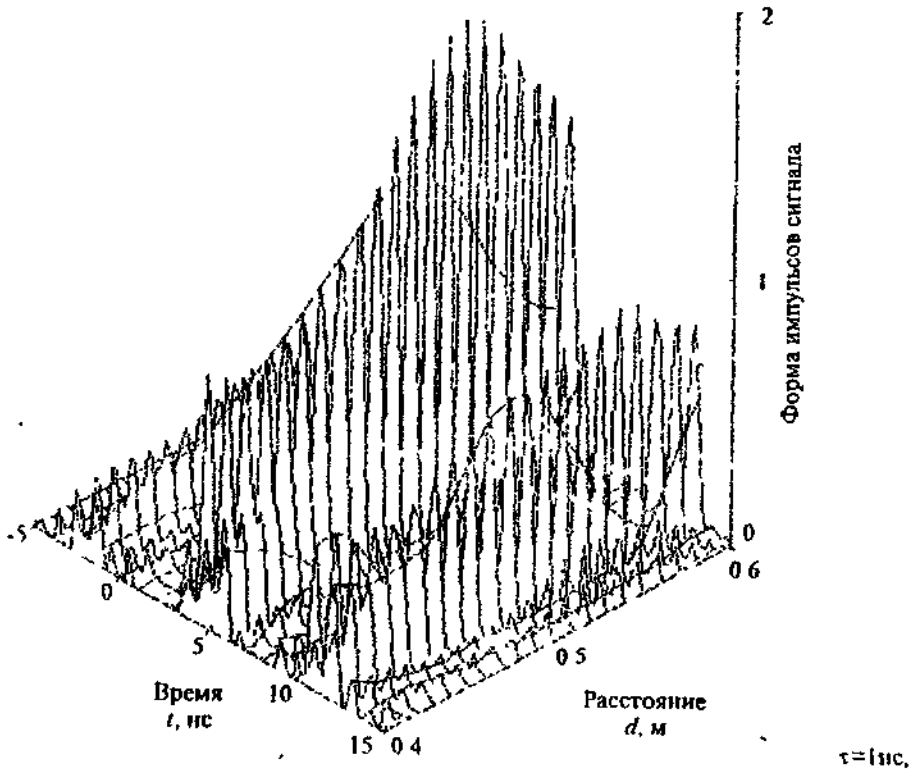
г) Эхо-сигнал на выходе приемника



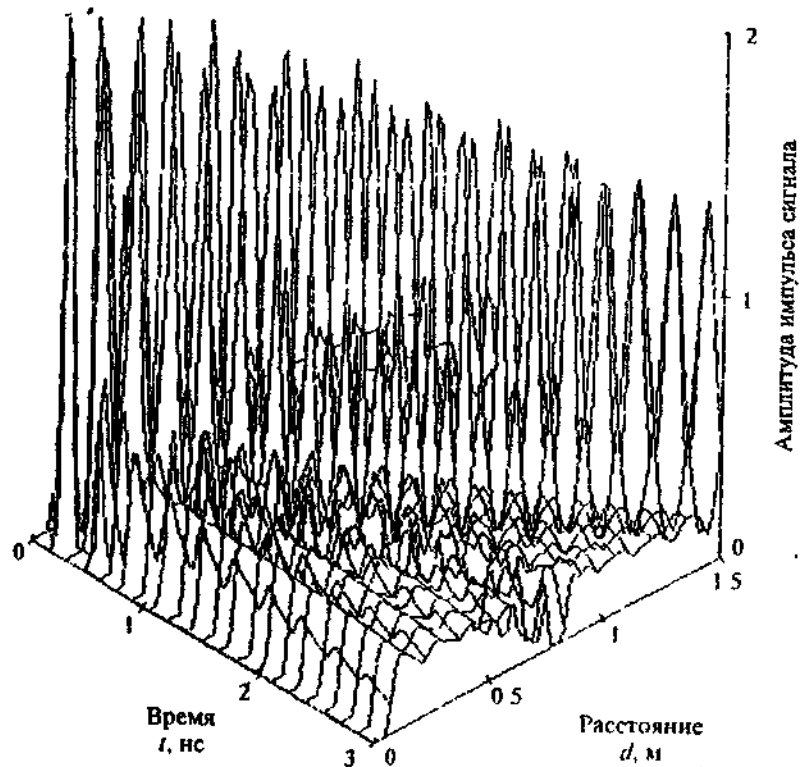
д) Сигнал на входе индикатора



Фиг. 2

$\tau = 1 \text{ нс}$; угол места 1 град

Фиг. 3



Фиг. 4

Упорядник

Техред М.Моргентал

Коректор М.Керецман

Замовлення 4115

Тираж

Підписне

Державне патентне відомство України,
254655, ГСП, Київ-53, Львівська пл., 8

Відкрите акціонерне товариство "Патент", м. Ужгород, вул.Гагаріна, 101