



УКРАЇНА

(19) UA (11) 13419 (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 рПублікується
в редакції заявника

(54) СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ КУТОВИХ КООРДИНАТ ЦІЛІ ДЛЯ НАЗЕМНОГО СЕКВЕНТНОГО РАДІОЛОКАТОРА

1

(21) 96114140

(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 угловых координат цели для наземного секвентного радиолокатора, заключающийся в излучении зондирующего сигнала в виде видеоимпульсов поля радиоволн наносекундной длительности без несущей частоты и приеме видеоимпульсов эхо-сигнала воздушной цели, отличающийся тем, что излучение и прием осуществляют с помощью одной приемо-передающей вибраторной антенны с плоским металлическим рефлектором, наблюдают принятые видеоимпульсы эхо-сигнала цели

2

с помощью индикатора, поворачивают антенну по азимуту до получения максимальной амплитуды видеоимпульсов эхо-сигнала на индикаторе, после этого измеряют время запаздывания t_3 двух положительных видеоимпульсов эхо-сигнала относительно друг друга, а угловые координаты цели θ и β определяют по соотношениям

$$\theta = \arcsin \frac{ct_3}{4h},$$

$$\beta = \arccos \frac{ct_3 h}{d \sqrt{16h^2 - c^2 t_3^2}},$$

где θ – угол места цели; β – азимутальный угол цели относительно направления оси антенны после поворота; h – высота подъема антенны над землей; d – расстояние от вибратора до рефлектора антенны; t_3 – время запаздывания друг относительно друга двух положительных видеоимпульсов эхо-сигнала цели после поворота антенны; c – скорость света.

Изобретение относится к области радиолокации и может быть использовано в наземных секвентных радиолокаторах с несинусоидальным импульсным зондирую-

щим сигналом в виде видеоимпульсов поля радиоволн наносекундной длительности без несущей частоты для измерения азимута и

(19) UA (11) 13419 (13) A

угла места воздушных целей в секторе малых углов места над землей.

Известен способ измерения угловых координат целей для импульсного радиолокатора микроволнового диапазона с качающейся по углу места антенной [1]. Способ заключается в излучении зондирующих радиоимпульсов на несущей частоте микроволнового диапазона с помощью одной приемопередающей зеркальной антенны, приеме эхо-сигналов цели с помощью этой же антенны, переключаемой антенным переключателем, вращении антенны по азимуту и качании антенны по углу места. Принятые эхо-сигналы цели наблюдают на индикаторе, а угловые координаты цели определяют по положению антенны в момент приема максимального сигнала.

Недостатком аналога является то, что этот способ содержит сложную операцию качания антенны по углу места.

Другой недостаток состоит в том, что для реализации способа требуется антенна с узкой диаграммой направленности, то есть требуется антенна больших размеров.

Третий недостаток состоит в том, что этот способ затруднительно использовать в секторе малых углов места над землей, так как отраженные от земли эхо-сигналы цели мешают проводить измерения.

В качестве прототипа выбран способ измерения угловых координат цели для секвентного радиолокатора с несинусоидальным импульсным сигналом и разнесенной антенной системой [1]. Способ-прототип заключается в излучении зондирующего сигнала в виде видеоимпульсов поля радиоволн наносекундной длительности без несущей частоты и приеме видеоимпульсов эхо-сигнала воздушной цели с помощью разнесенной антенной системы из четырех антенн, одна из которых является приемопередающей, а три других работают только на прием. Прием осуществляют с помощью четырех приемников, связанных с антеннами. Измеряют время запаздывания видеоимпульсов эхо-сигнала цели, принятых четырьмя разнесенными антеннами, относительно зондирующего видеоимпульса и по результатам измерений определяют расстояния от четырех разнесенных антенн до цели. Две угловые координаты цели определяют по найденным дальностям от антенн до цели. Сканировать антенную систему в прототипе не требуется. Приемопередающую антенну переключают с передачи на прием с помощью антенного переключателя.

Недостатком способа-прототипа является то, что для реализации способа требуется четыре разнесенные антенны и четыре

приемника, а одной антенны и одного приемника не достаточно.

Другой недостаток прототипа состоит в том, что этот способ затруднительно реализовать для измерения углов места целей в секторе малых углов места над землей. Это объясняется тем, что отраженные от земли эхо-сигналы воздушной цели затрудняют процесс измерений и зачастую не позволяют однозначно интерпретировать результаты измерений.

В основу изобретения поставлена задача устранения отмеченных недостатков аналога и прототипа и обеспечение возможности измерения угловых координат воздушной цели в секторе малых углов места над землей с помощью секвентного радиолокатора с одной приемопередающей антенной и одним приемником.

Поставленная задача решается тем, что в способе измерения угловых координат цели для наземного секвентного радиолокатора, заключающемся в излучении зондирующего сигнала в виде видеоимпульсов поля радиоволн наносекундной длительности без несущей частоты и приеме видеоимпульсов эхо-сигнала воздушной цели, согласно изобретению излучение и прием осуществляют с помощью одной приемопередающей вибраторной антенны с плоским металлическим рефлектором, наблюдают принятые видеоимпульсы эхо-сигнала цели с помощью индикатора, поворачивают антенну по азимуту до получения максимальной амплитуды видеоимпульсов эхо-сигнала на индикаторе после этого измеряют время запаздывания t_3 двух положительных видеоимпульсов эхо-сигнала относительно друг друга, а угловые координаты цели θ и β определяют по соотношениям

$$\theta = \arcsin \frac{ct_3}{4h}, \quad (1)$$

$$\beta = \arccos \frac{ct_3 h}{d \sqrt{16h^2 - c^2 t_3^2}}, \quad (2)$$

где θ – угол места цели;

β – азимутальный угол цели относительно направления горизонтальной оси антенны после поворота;

h – высота подъема антенны над землей;

d – расстояние от вибратора до рефлектора антенны;

t_3 – время запаздывания друг относительно друга двух положительных видеоимпульсов эхо-сигнала цели после поворота антенны;

c – скорость света.

При этом полярность излучаемого вибратором видеоимпульса поля радиоволн условно принята положительной, ось антенны направлена горизонтально, а операция качания антенны по углу места в предложенном способе не используется.

Техническая сущность и принцип действия предложенного способа поясняются рисунками на фиг.1,2. На фиг.1 представлена упрощенная структурная схема секвентного радиолокатора для реализации предложенного способа, а также условно показаны вибраторная приемопередающая антенна с плоским металлическим рефлектором и фидерной линией из двух коаксиальных кабелей, цель, поверхность земли, лучи прямых и отраженных от земли радиоволн и эхо-сигнала на выходе приемника. На фиг.2 представлены упрощенные эхо-сигналы зондирующего видеоимпульса и видеоимпульсов эхо-сигнала цели на выходе приемника до поворота и после поворота антенны по азимуту.

Схема на фиг.1 представляет возможный пример секвентного радиолокатора для реализации предложенного способа.

В состав секвентного радиолокатора на схеме фиг.1 входят следующие основные элементы:

короткий проволочный вибратор 1 (длина этого вибратора меньше ct , где t – длительность зондирующего видеоимпульса);

плоский металлический рефлектор 2, удаленный от вибратора на расстояние d , которое значительно больше $ct/2$, а размеры рефлектора значительно больше размеров вибратора;

фидерная линия 3 из двух коаксиальных кабелей для запитки вибратора 1 с концов (сигнал подводится по внутренним жилам этих кабелей, а наружные металлические оболочки кабелей заземлены);

антенный переключатель 4 для переключения антенны с передачи на прием (этот переключатель закорачивает вход приемника на время излучения зондирующего видеоимпульса);

электрохимическое устройство 5 для поворота антенны (вибратора с рефлектором) по азимуту;

передатчик 6 несинусоидальных импульсных сигналов в виде видеоимпульсов наносекундной длительности без несущей частоты;

приемник 7 в виде широкополосного усилителя наносекундных видеоимпульсов эхо-сигнала цели;

индикатор 8 для визуального наблюдения видеоимпульсов эхо-сигналов цели с выхода приемника 7;

широкополосный диод 9 для отделения положительных видеоимпульсов эхо-сигнала цели от отрицательных видеоимпульсов для того, чтобы последние не мешали проводить дальнейшие измерения;

измеритель 11 времени запаздывания t_z двух положительных видеоимпульсов эхо-сигнала цели с выхода диода 9 друг относительно друга;

вычислитель 11 для вычисления угла места θ и азимутального угла β цели относительно оси повернутой антенны по результату измерения t_z и известным размерам антенны d и h с помощью соотношений (1), (2).

Ниже поясняется физическая сущность предложенного способа и обосновываются его существенные отличительные признаки. Предложенный способ основан на использовании отражений радиоволн от земли и рефлектора антенны, а также на использовании свойств наносекундных видеоимпульсов поля радиоволн изменять полярность импульса при каждом отражении от земли, рефлектора или цели [2]. Антенна секвентного радиолокатора поднята над землей на высоту h , а ось антенны направлена горизонтально.

Радиоволны от вибратора 1 антенны до цели и обратно распространяются шестнадцатью возможными путями, которые указаны в таблице.

В этой таблице указан номер пути радиоволн, а название пути обозначено буквами, которые обозначают следующее: В – вибратор; Р – рефлектор; З – земля; Ц – цель. В этой таблице также указана полярность видеоимпульсов сигнала на выходе приемника для соответствующих путей, а также представлены математические соотношения для времени запаздывания соответствующих видеоимпульсов эхо-сигнала относительно зондирующего импульса. В этих соотношениях $t_{зп}$ – время запаздывания видеоимпульса прямой волны вибратора – цель-вибратор относительно зондирующего видеоимпульса; θ – угол места цели; β – азимутальный угол цели относительно направления оси антенны; d – расстояние от вибратора до рефлектора антенны; h – высота подъема вибратора антенны над землей; c – скорость света. Математические соотношения в таблице получены из геометрии антенны и лучей радиоволн, показанных на фиг.1.

Одному зондирующему видеопульсу соответствует 16 видеопульсов эхо-сигнала цели, при этом видеопульсы путей 2,3,5,9,8,12,14,15 на выходе приемника 7 имеют положительную полярность, а видеопульсы 1,4,6,7,10,11,13,16 – отрицательную полярность. Видеопульсы путей (2,3); (5,9); (8,12); (14, 15) имеют попарно одинаковое время запаздывания и складываются в вибраторе 1 при приеме. Отрицательные видеопульсы 6,7,10,11 также имеют одинаковое время запаздывания, складываются и образуют один отрицательный импульс увеличенной амплитуды. В результате эхо-сигнал на выходе приемника 7 до поворота антенны будет состоять из 9 видеопульсов как показано на фиг.2б. Около каждого импульса на этом рисунке указан номер пути, по которому этот импульс распространялся. Четыре из этих видеопульсов имеют положительную полярность, а остальные 5 импульсов – отрицательную полярность.

Как видно из рисунка фиг.2б, сигнал на выходе приемника до поворота антенны состоит из трех групп видеопульсов по три импульса в каждой группе. Первая группа импульсов (1, (2,3), 4) не отражалась от рефлектора антенны. Вторая группа импульсов ((5,9), (6,7,10,11), (8,12)) отражалась от рефлектора один раз либо на пути к цели, либо на обратном пути. Третья группа импульсов (13, (14,15), 16) отражалась от рефлектора дважды (на пути к цели и на обратном пути). Импульсы одинаковой полярности в каждой из трех групп запаздывают друг относительно друга на время t_3 равное

$$t_3 = \frac{4 h \sin \theta}{c}, \quad (3)$$

Вторая группа импульсов запаздывает относительно первой группы на время

$$t_{32} = \frac{2d \cos \theta \cos \beta}{c}, \quad (4)$$

а третья группа импульсов запаздывает относительно первой группы на время

$$t_{33} = \frac{4d \cos \theta \cos \beta}{c}, \quad (5)$$

Предлагается изменить время запаздывания t_{32} , t_{33} путем поворота оси антенны по азимуту на угол β относительно азимутального направления на цель таким образом, чтобы выполнялось соотношение

$$t_{32} = \frac{2h \sin \theta}{c}, \quad (6)$$

В результате такого поворота импульсы (2,3) и (5,9) сложатся. Сложатся также импульсы 4, (6,7,10,11), 13 и образуют импульс отрицательной полярности увеличенной амплитуды, кроме того сложатся также импульсы (8,12) и (14,15). В результате такого поворота сигнал на выходе приемника 7 будет выглядеть примерно так, как показано на фиг.2в, и результирующие импульсы достигнут максимального значения по амплитуде. О правильности поворота антенны можно судить путем визуального наблюдения видеопульсов сигнала с помощью индикатора 8.

После поворота антенны результирующий сигнал будет состоять из двух положительных импульсов, смещенных по времени на время запаздывания t_3 , определенное соотношением (3), а также из трех отрицательных импульсов как показано на фиг.2в. Положительные видеопульсы после поворота антенны отделяют от отрицательных импульсов с помощью диода 9 и измеряют время запаздывания t_3 выделенных положительных импульсов друг относительно друга с помощью измерителя 10.

Для вычисления угла места цели θ и азимутального угла цели β относительно оси повернутой антенны предлагается использовать соотношения (1), (2), которые получены из (3), (4), (6). Эти вычисления осуществляют с помощью вычислителя 11 по результату измерения t_3 и известным размерам антенны h , d .

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

В качестве примера возможной реализации предложенного способа ниже приводятся следующие расчетные параметры секвентного радиолокатора для реализации способа:

- длительность зондирующего импульса $\tau = 1$ нс;
- полоса пропускания приемника 1 Гц;
- высота подъема антенны над землей $h = 10$ м;
- длина вибратора $l = 0,2$ м;
- расстояние от вибратора до рефлектора $d = 1,5$ м;
- размер рефлектора $2,5 \times 2,5$;
- рабочий угломестный сектор $\theta = 0 - 10^\circ$.

Проведенные расчеты подтверждают возможность практической реализации предложенного способа.

Следует отметить, что соотношение (2) позволяет определить величину азимутального угла цели β относительно оси повернутой антенны, но знак угла (слева или справа от оси находится цель) остается неопределенным.

Для устранения этой неопределенности предлагается выполнить следующие операции. Условно полагают, что цель находится слева от оси антенны, и поворачивают антенну вправо на угол $90^\circ - \beta$ (β - положительный). Если после этого сигнал цели на выходе приемника исчезнет, то цель находится слева от оси антенны, в противном случае цель находится справа от оси антенны.

Предложенный способ осуществляют следующим образом. Излучают зондирующие видеоимпульсы поля радиоволн наносекундной длительности без несущей частоты с помощью вибраторной антенны с плоским металлическим рефлектором. Принимают эхо-сигналы воздушной цели этой же антенны. Радиоволны отражаются от земли, рефлектора антенными и цели и при каждом отражении полярность видеоимпульсов поля радиоволн изменяется. Радиоволны от вибратора до цели и обратно распространяются 16 различными путями (указанными в таблице) и одному зондирующему видеоимпульсу соответствует 16 ви-

деоимпульсов эхо-сигнала цели. При приеме некоторые из этих импульсов складываются в вибраторе антенны. Принятые видеоимпульсы усиливают в приемнике 7 и визуально наблюдают с помощью индикатора 8. Поворачивают антенну по азимуту в любую сторону до получения максимальной амплитуды видеоимпульсов эхо-сигнала на индикаторе 8. При этом некоторые из импульсов сложатся и в результате останется два положительных импульса увеличенной амплитуды. Эти положительные видеоимпульсы выделяют диодом 9 и измеряют время запаздывания t_3 этих импульсов друг относительно друга с помощью измерителя 10. По результату измерения t_3 вычисляют угловые координаты цели θ и β с помощью вычислителя 11 и соотношений (1), (2).

Достоинством предложенного способа является то, что он обеспечивает возможность измерения угловых координат цели в секторе малых углов места над землей. При этом отраженные от земли эхо-сигналы цели, которые мешали работе прототипа, в предложенном способе принципиально не необходимы для достижения положительного эффекта. Для реализации способа достаточно только одной антенны и одного приемника.

Таким образом, предложенный способ может быть практически реализован, обеспечивает получение положительного эффекта и устраняет отмеченные недостатки аналога и прототипа.

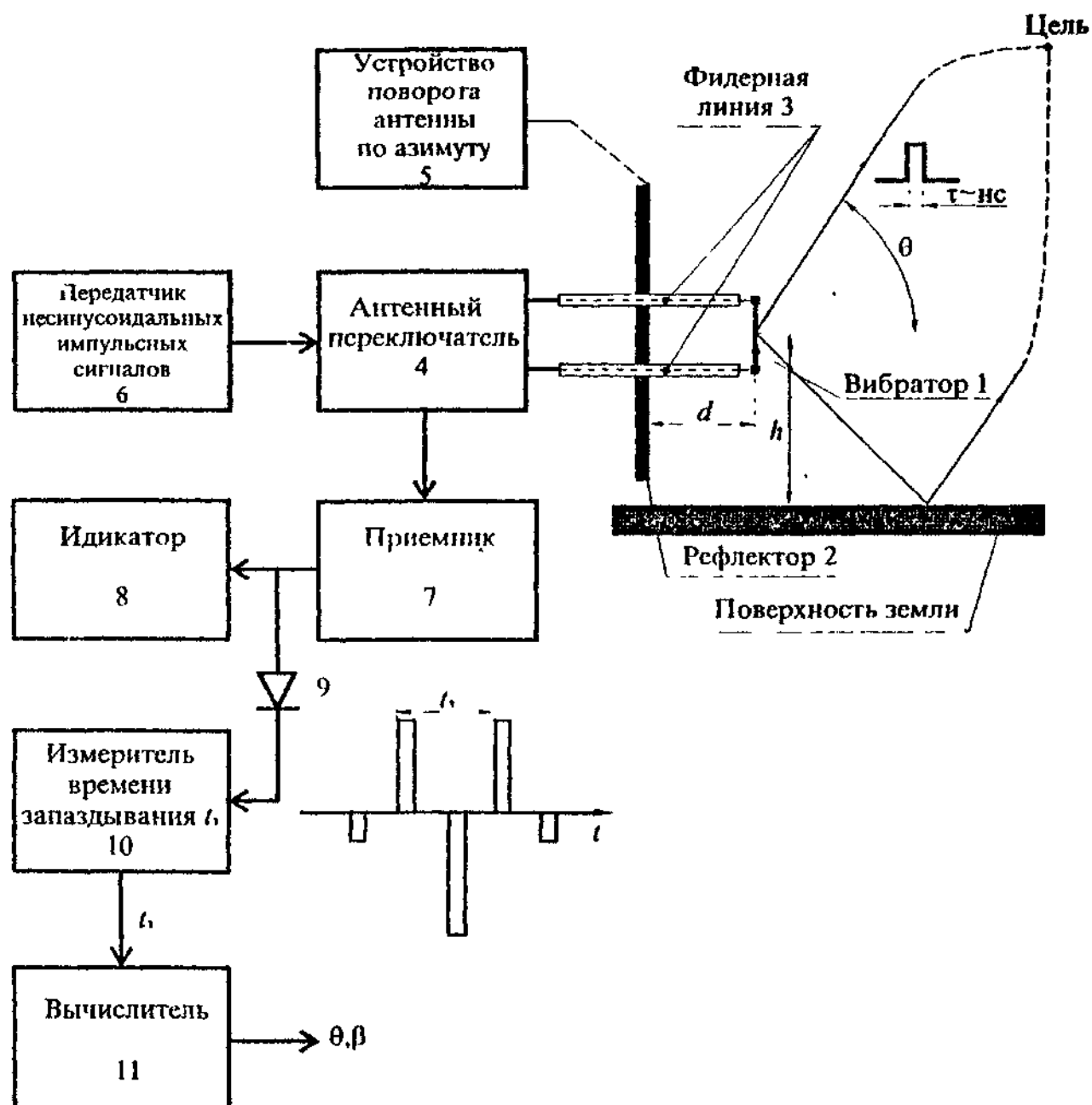
35

№ пути	Название пути радиоволн	Время запаздывания видеоимпульса эхо-сигнала относительно зондирующего импульса	Полярность импульса
1	В-Ц-В	t_{3n}	-
2	В-Ц-З-В	$t_{3n} + \frac{2n \sin \theta}{c}$	+
3	В-З-Ц-В	$t_{3n} + \frac{2h \sin \theta}{c}$	+
4	В-З-Ц-З-В	$t_{3n} + \frac{4h \sin \theta}{c}$	-
5	В-Ц-Р-В	$t_{3n} + \frac{2d \cos \theta \cos \beta}{c}$	+
6	В-Ц-З-Р-В	$t_{3n} + \frac{2d \cos \theta \cos \beta}{c} + \frac{2h \sin \theta}{c}$	-

Продолжение таблицы

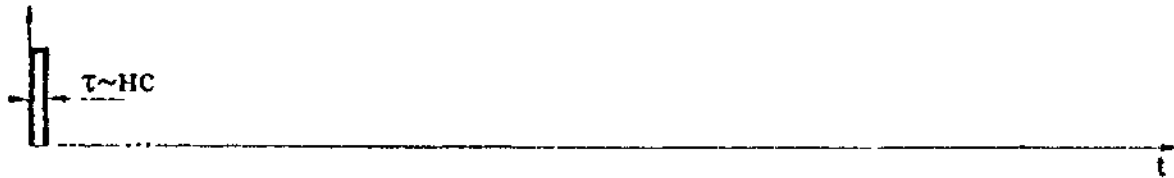
№ пути	Название пути радиоволн	Время запаздывания видеоимпульса эхо-сиг- нала относительно зондирующего импульса	Полярность им- пульса
7	В-З-Ц-Р-В	$t_{3n} + \frac{2d \cos \theta \cos \beta}{c} + \frac{2h \sin \theta}{c}$	-
8	В-З-Ц-З-Р-В	$t_{3n} + \frac{2d \cos \theta \cos \beta}{c} + \frac{4h \sin \theta}{c}$	+
9	В-Р-Ц-В	$t_{3n} + \frac{2d \cos \theta \cos \beta}{c}$	+
10	В-Р-З-Ц-В	$t_{3n} + \frac{2d \cos \theta \cos \beta}{c} + \frac{2h \sin \theta}{c}$	-
11	В-Р-З-Ц-В	$t_{3n} + \frac{2d \cos \theta \cos \beta}{c} + \frac{2h \sin \theta}{c}$	-
12	В-Р-З-Ц-З-В	$t_{3n} + \frac{2d \cos \theta \cos \beta}{c} + \frac{4h \sin \theta}{c}$	+
13	В-Р-Ц-Р-В	$t_{3n} + \frac{4d \cos \theta \cos \beta}{c}$	-
14	В-Р-Ц-З-Р-В	$t_{3n} + \frac{4d \cos \theta \cos \beta}{c} + \frac{2h \sin \theta}{c}$	+
15	В-Р-З-Ц-Р-В	$t_{3n} + \frac{4d \cos \theta \cos \beta}{c} + \frac{2h \sin \theta}{c}$	+
16	В-Р-З-Ц-З-Р-В	$t_{3n} + \frac{4d \cos \theta \cos \beta}{c} + \frac{4h \sin \theta}{c}$	-

Обозначения в таблице: В - вибратор; Р - рефлектор; З - земля; Ц- цель.

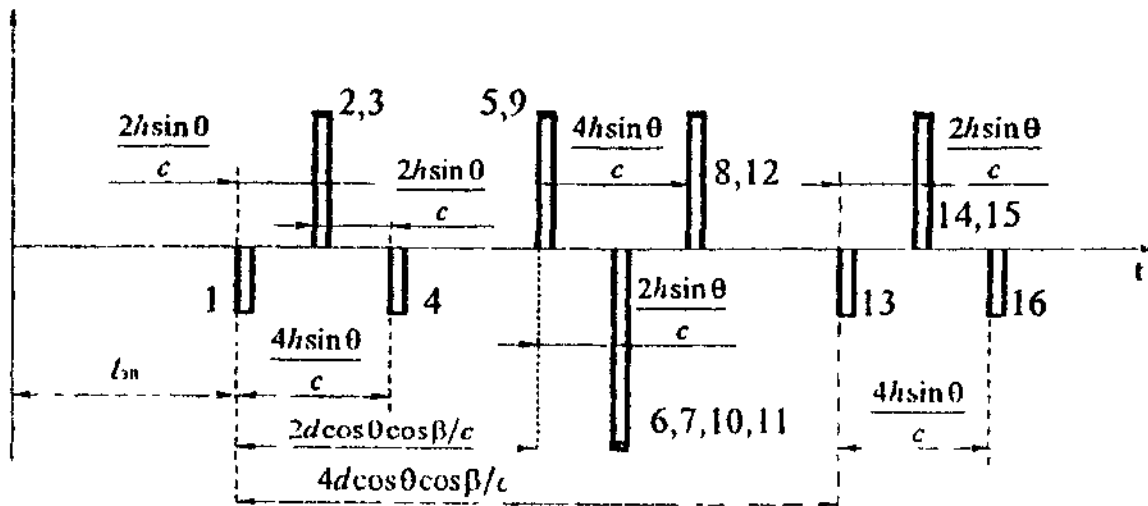


Фиг. 1

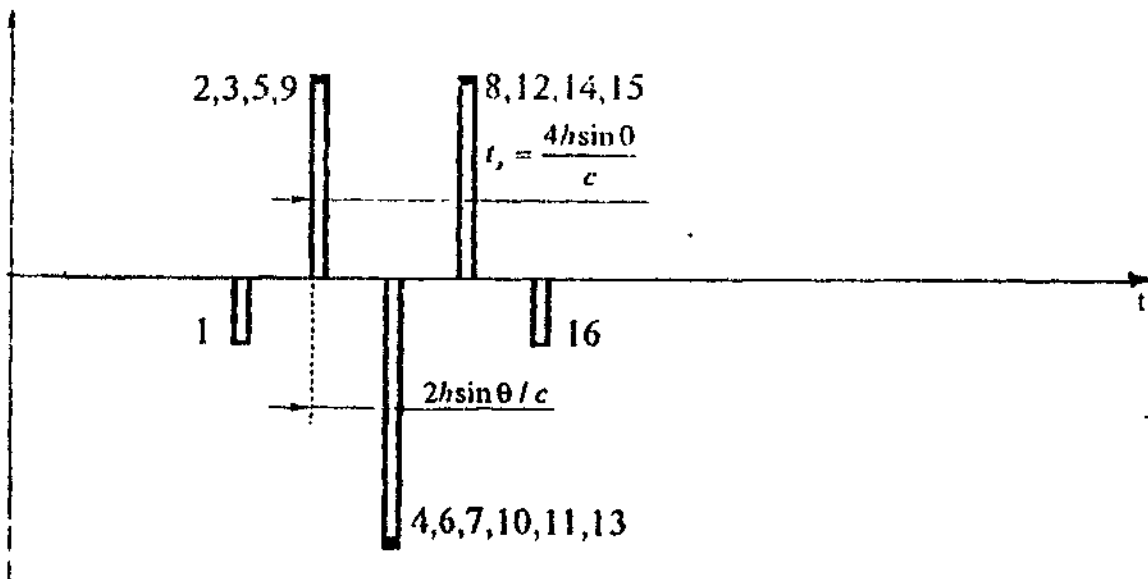
а) Зондирующий видеоимпульс



б) Сигнал на выходе приемника до поворота антенны



в) Сигнал на выходе приемника после поворота антенны



Фиг. 2

Упорядник

Техред М.Моргентал

Коректор О.Кравцова

Замовлення 4114

Тираж

Підписне

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

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