

МОНОИМПУЛЬСНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ДВУХ УГЛОВЫХ КООРДИНАТ С ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫМ ИЗЛУЧАЕМЫМ СИГНАЛОМ

В. А. Орлов*, С. С. Поддубный

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

*Адрес для переписки: valentin.orloff2016@yandex.ru

Аннотация

Статья посвящена разработке алгоритма работы моноимпульсного измерителя двух угловых координат с двумя приемными каналами, использующий сложный пространственно-временной излучаемый сигнал. Азимут цели измеряется по принимаемым П-В сигналам, а угол места – фазовым моноимпульсным методом. Приводятся расчеты тел неопределенности П-В сигналов, их анализ для выявления влияния углового кода на форму ТН и точность измерения угловых координат. Выполнен расчет дискриминационных характеристик измерителей угла места и азимута.

Ключевые слова

измеритель угловых координат, пространственно-временной сигнал.

Информация о статье

УДК 621.396.96

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 28.03.2019, принята к печати 30.12.19.

Ссылка для цитирования: Орлов В. А., Поддубный С. С. Моноимпульсный измеритель двух угловых координат с пространственно-временным излучаемым сигналом // Информационные технологии и телекоммуникации. 2019. Том 7. № 3. С. 13–19. DOI 10.31854/2307-1303-2019-7-3-13-19.

MONOPULSE METER OF TWO ANGULAR COORDINATES WITH A SPACE-TIME RADIATED SIGNAL

V. Orlov*, S. Poddubny

The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications,
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

*Corresponding author: valentin.orloff2016@yandex.ru

Abstract—The article describes the development of an algorithm of operation of a monopulse meter of two angular coordinates with two receiving channels with using complex space-time emitted signal. The azimuth of the target estimates by using the received space-time signals. The elevation estimates by using the phase monopulse method. Calculations of the Ambiguity Functions (AF) of space-time signals, their analysis to identify the influence of the angular code on the form of AF and measuring precision of angular coordinates. The calculation of discriminating characteristics of the position angle and azimuth meters is performed.

Keywords—Meter of two angular coordinates, space-time signals.

Article info

Article in Russian.

Received 28.03.2019, accepted 30.12.19.

For citation: Orlov V., Poddubny S.: Monopulse Meter of Two Angular Coordinates with a Space-Time Radiated Signal // Telecom IT. 2019. Vol. 7. Iss. 3. pp. 13–19 (in Russian). DOI 10.31854/2307-1303-2019-7-3-13-19.

Выполненный по традиционной схеме моноимпульсный измеритель двух угловых координат (УК) должен иметь четыре разнесенных по амплитуде или фазе диаграммы направленности (ДН) приемной антенны, из которых формируется суммарная ДН и две разностные, предназначенные для оценки азимута и угла места цели.

Наличие трех приемных каналов приводит к необходимости постоянной проверки идентичности их коэффициентов усиления и фазовых сдвигов, что усложняет построение измерителя [1].

Применение П-В излучаемого сигнала позволяет несколько упростить приемную часть моноимпульсного измерителя, т.к. для оценки двух УК необходимо только два приемных канала [2].

Для формирования П-В сигналов (рис. 1, см. ниже) используется модуляция положения фазового центра активной фазовой антенной решетки (АФАР) в процессе излучения зондирующего сигнала. П-В излучаемый сигнал формируется на основе сложного фазоманипулированного (ФМ) сигнала, излучаемого частями, кратными длительности элементарных импульсов, составляющих этот ФМ сигнал из двух положений фазовых центров АФАР (А1 и А2), переключаемых в процессе излучения в соответствии с выбранным угловым кодом. В результате

такого излучения информации о направлении на цель вносится в функцию внутриимпульсной фазовой модуляции.

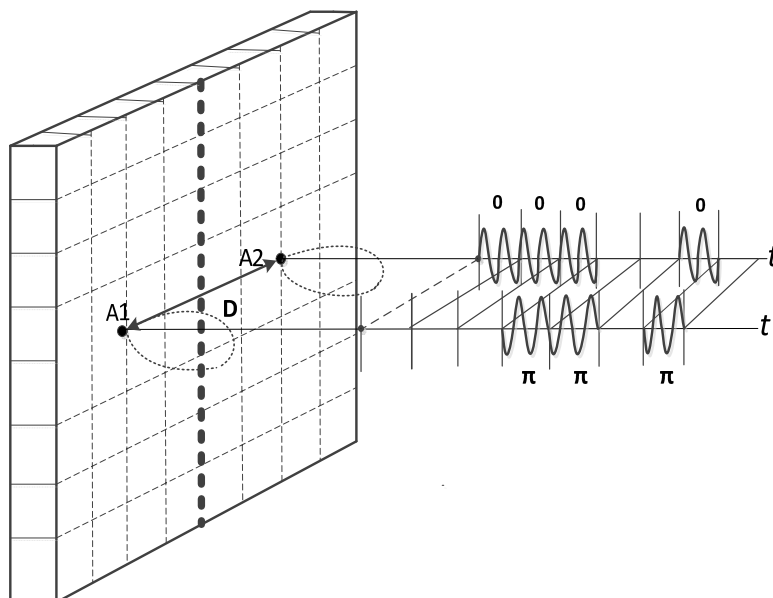


Рис. 1. Формирование П-В излучаемого сигнала с пространственным кодированием по азимуту

Это позволяет использовать фильтровую (временную) обработку принимаемых сигналов для измерения азимута цели.

На рис. 2. представлены диаграммы направленности приемных антенн, с помощью которых измеряется угол места по разности фаз сигналов, принимаемых антеннами А3 и А4. В зависимости от расположения цели, элементарные импульсы, излучаемые разными антеннами, могут проходить различные расстояния. Если цель находится на равносигнальном направлении (РСН), то эти расстояния равны. Если цель находится на направлении, отличном от РСН, то возникает различие в расстояниях. Это различие тем более, чем более цель отклонена от РСН. Различие в расстояниях будет приводить к дополнительным фазовым набегам, определяемым формулой:

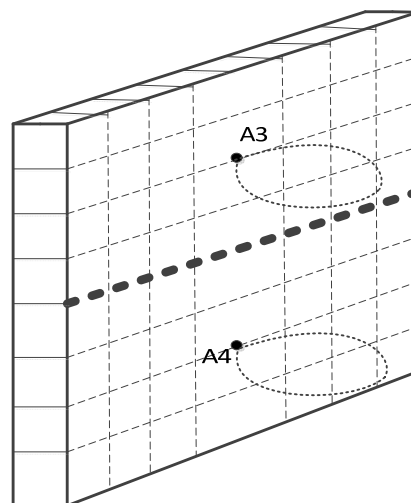


Рис. 2. ДН приемных антенн А3 и А4 с разносом фазовых центров для измерения угла места

$$\Delta\varphi = \varphi(\alpha) = \frac{\pi D \sin \alpha}{\lambda},$$

где D – половина расстояния между фазовыми центрами излучения;
 α – направление на цель.

На рис. 3 показано, как будет выглядеть сигнал, облучающий цель, находящуюся на РСН и цель, которая смещена относительно РСН на угол α .

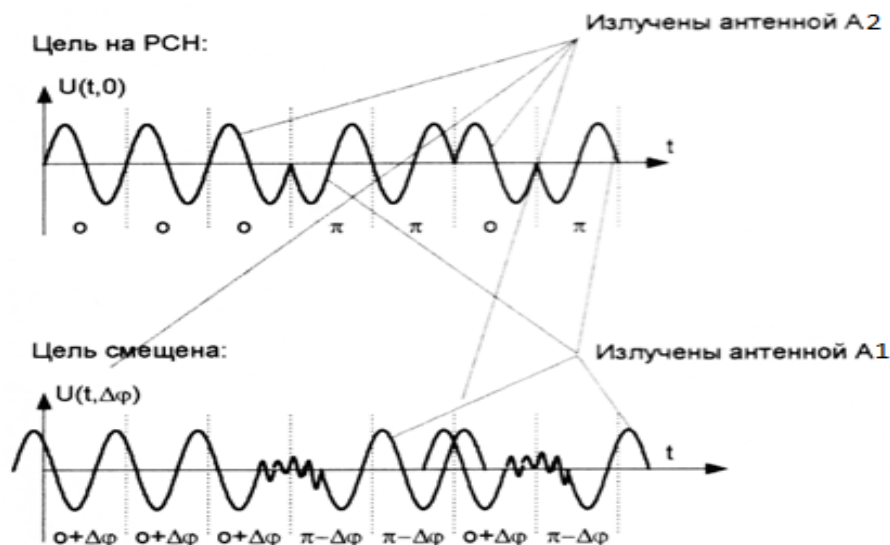


Рис. 3. Зависимость фазовой структуры сигнала от направления излучения

С учетом дополнительных приращений фазы сигнала закон внутриимпульсной фазовой модуляции излучаемого сигнала становится функцией не только времени, но и направления излучения:

$$s(t, \alpha) = \sqrt{p_s} F(\alpha) u(t) \sum_{i=0}^{N-1} a_i \text{rect}(t - it_i) \sin(\omega_0 t + \theta_0 + KU_i \varphi(\alpha)),$$

где KU_i – угловой код, элементы которого принимают значения +1 или –1 в зависимости от того, какая из передающих антенн (A1 или A2) в данный момент излучает элементарные импульсы, составляющие ФМ сигнал;

$F(\alpha)$ – ДН передающей антенны (A1 и A2);

$u(t)$ – закон амплитудной модуляции;

p_s – средняя мощность излучаемого сигнала;

$\Delta\varphi = \varphi(\alpha) = \frac{\pi D \sin \alpha}{\lambda}$ – дополнительный фазовый набег;

θ_0 – начальная фаза излученного сигнала;

$a_i = \begin{cases} 1, \\ -1 \end{cases}$ – в зависимости от выбранного временного кода – чередования фаз

ФМ («0-π»).

На рис. 4. представлена обобщенная структурная схема измерителя двух угловых координат.

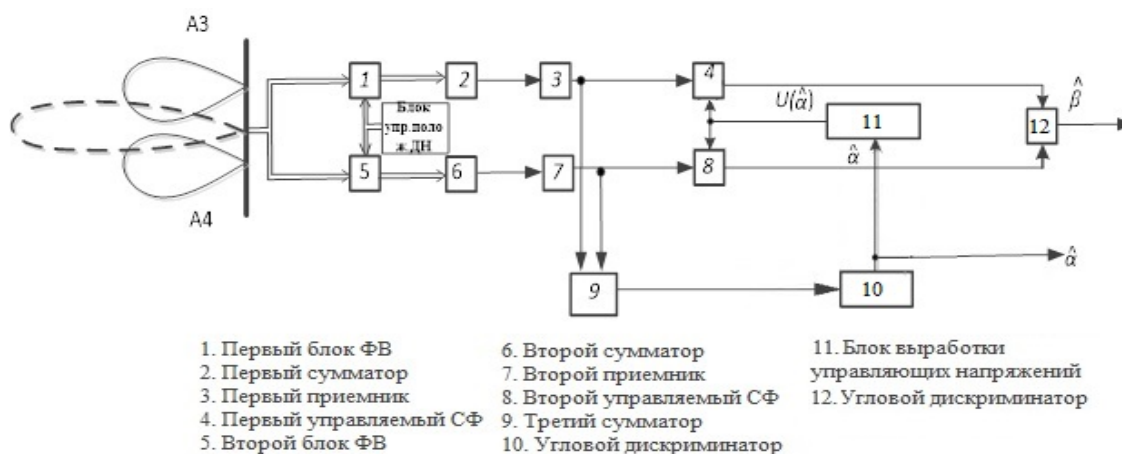


Рис. 4. Обобщенная структурная схема измерителя двух угловых координат

Оценка угла места β выполняется двухканальным фазовым моноимпульсным методом. Для этого сигналы, снимаемые с выходов первого и второго сумматоров, усиливаются первым и вторым приёмниками и поступают на входы согласованных фильтров (СФ). В отличие от стандартной схемы построения измерителя [1], в данной схеме СФ в приемных каналах управляемые. Для максимизации отношения сигнал-шум эти фильтры подстраиваются под фазовую структуру принимаемых сигналов оценкой параметра $\hat{\alpha}$. Для этого в блоке выработки управляющих напряжений по оценке $\hat{\alpha}$ вырабатываются управляющие настройкой фазовращателей в первом и втором управляемых согласованных фильтрах напряжения. Чем ближе значение оценки $\hat{\alpha}$ к истинному значению направления на цель α , тем ближе напряжение на выходе третьего сумматора к максимально возможному.

Оценка азимута цели $\hat{\alpha}$ выполняется путем использования зависимости фазовой структуры принимаемого сигнала от этой угловой координаты [2]. Для этого угловым дискриминатором 10 содержит два расстроенных по значению фазового кода фильтра. Амплитуда сигналов на выходах данных фильтров зависит от направления на цель, аналогично, как и на выходе амплитудного антенного датчика моноимпульсной РЛС. Поэтому алгоритм работы дискриминатора такое же, как и для обычного моноимпульсного угломера.

Проведенный анализ ТН П-В излучаемых ФМ сигналов Баркера показал, что максимальная крутизна дискриминационной характеристики достигается при совпадении KU_i с временным кодом [3].

На рис. 5 и 6 (см. ниже) представлены рассчитанные дискриминационные характеристики (ДХ) и флуктуационные характеристики для моноимпульсного измерителя азимута цели α получаемые с использованием зависимости фазовой структуры П-В сигнала от направления излучения.

Подводя итоги анализа результатов, видно, что ДХ измерителя с амплитудным суммарно-разностным датчиком при расстройке согласованных фильтров на фазовый угол $\pi/4$ имеет наибольшую протяженность линейного участка. При этом крутизна преобразования по α составляет 2,4 (1/град.), протяженность линейного участка примерно равна ширине диаграммы направленности приемной антенны по уровню половинной мощности $\approx 1^\circ$.

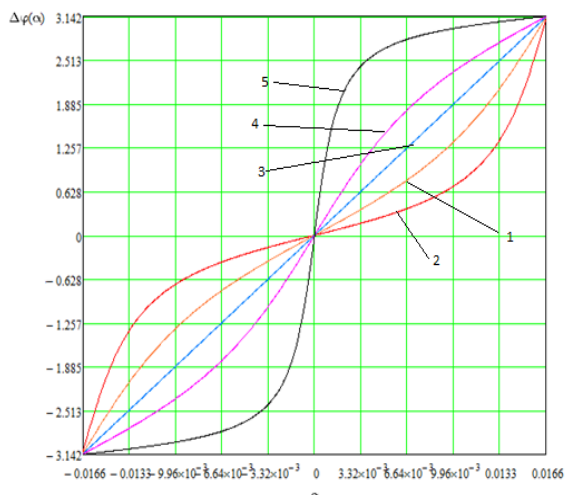


Рис. 5. Дискриминационные характеристики оптимального измерителя с амплитудным суммарно-разностным датчиком угла, построенные для различных фазовых углов расстройки фильтров ($\varphi(\alpha_0)$):
 $\varphi(\alpha_0) = \frac{\pi}{12} - (1)$, $\varphi(\alpha_0) = \frac{\pi}{6} - (2)$, $\varphi(\alpha_0) = \frac{\pi}{4} - (3)$,
 $\varphi(\alpha_0) = \frac{\pi}{3} - (4)$, $\varphi(\alpha_0) = \frac{6\pi}{13} - (5)$

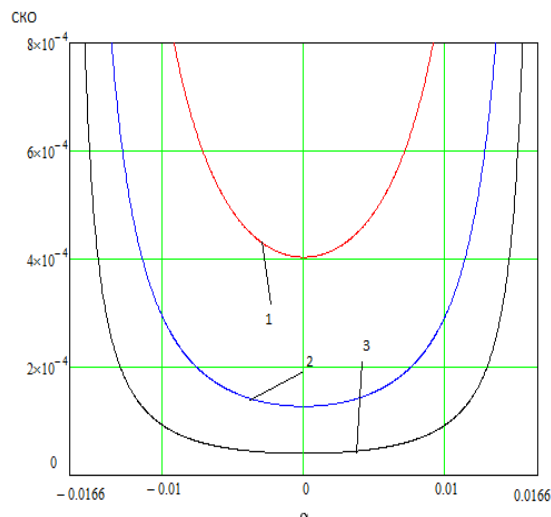


Рис. 6. Расчет СКО УК, построенные для различных отношений сигнал/шум при начальной фазовой расстройке СФ $\varphi(\alpha_0) = \pi/4$, $q=1 - (1)$, $q=10^{1/2} - (2)$, $q=10 - (3)$

Среднеквадратическая ошибка измерения у амплитудного датчика уменьшается при увеличении отношения сигнал/шум. Увеличение ошибки при отклонении цели от равносигнального направления происходит более быстро, чем у обычных моноимпульсных измерителей. Это связано с тем, что наряду с диаграммой направленности, происходит уменьшение уровня сигнала с выходов согласованных фильтров СФ1 и СФ2.

Литература

1. Леонов А. И., Фомичев К. И. Моноимпульсная радиолокация. – М.: Советское радио, 1970. 392 с.
2. Журавлев А. К., Лукошкин А. П., Поддубный С. С. Обработка сигналов в адаптивных антенных решетках. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1983. 240 с.
3. Орлов В. А., Поддубный С. С. Исследование тел неопределенности двухчастотных пространственно-временных излучаемых сигналов // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. VIII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2019. Т. 3. С 287–292.

References

1. Leonov A. I., Fomichev K. I. Monoimpulsnaya radiolokatsiya. – M.: Sovetskoye radio. 1970. 392 s.
2. Zhuravlev A. K., Lukoshkin A. P., Poddubnyy S. S. Obrabotka signalov v adaptivnykh antennykh reshetkakh. L.: Izd-vo Leningr. un-ta. 1983. 240 s.
3. Orlov V., Poddubny S. The Research Ambiguity Bodies of Dual-Frequency Time-Space Radiated Signals // 8th International Conference on Advanced Infotelecommunications, ICAIT 2019. V. 3. pp. 287–292.

**Орлов
Валентин Алексеевич**

– студент, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232,
Российская Федерация, valentin.orloff2016@yandex.ru

***Поддубный
Сергей Сергеевич***

- кандидат технических наук, доцент, СПбГУТ,
Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация,
poddubnyy_47@mail.ru

Orlov Valentin

- Student, SUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation,
valentin.orloff2016@yandex.ru

Poddubny Sergei

- Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,
SUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation,
poddubnyy_47@mail.ru