

## СПОСОБ ПЕЛЕНГОВАНИЯ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ

В.П. Тарохтей

(представил д.т.н., проф. В.Я. Жихарев)

Предлагается новый фазовый способ пеленгования по азимуту двух источников радиоизлучения на одной несущей частоте в случае, когда они не определяются антенной пеленгатора и их сигналы принимаются одновременно.

Известные фазовые методы пеленгования источника радиоизлучения обычно основаны на приеме сигналов двумя разнесенными антеннами и измерении сдвига фаз сигналов в этих антеннах. По сдвигу фаз определяют угловую координату источника относительно оси антенной системы. Недостатком известных фазовых методов является то, что они не обеспечивают пеленгования двух источников радиоизлучения на одной высокой частоте в случаях, когда они не разрешаются диаграммой направленности антенны.

Целью статьи является усовершенствование фазового способа пеленгования двух источников радиоизлучения, в котором за счет приема радиоволн двух источников радиоизлучения на одной высокой частоте с помощью трех одинаковых разнесенных антенн и измерения сдвигов фаз и отношений амплитуд сигналов этих антенн обеспечивают пеленгование двух источников радиоизлучения по азимуту в случаях, когда эти источники не разрешаются диаграммой направленности антенны.

Сущность предлагаемого способа заключается в выполнении следующих операций. Принимают сигналы двух источников радиоизлучения с помощью трех одинаковых антенн, разнесенных по горизонтали на одинаковые расстояния и связанных с тремя одинаковыми приемниками. Измеряют сдвиги фаз  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  выходных напряжений первого и второго и первого и третьего приемников с помощью двух фазометров и дополнительно измеряют амплитуды выходных напряжений всех трех приемников  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$ , а азимутальные пеленги двух источников радиоизлучения определяют по результатам измерений путем решения следующей системы двух трансцендентных уравнений с двумя неизвестными пеленгами:

$$\left| \frac{U_2 \exp(j\varphi_1)}{U_1} \frac{\exp\left(-j \frac{4\pi d}{\lambda} \sin \beta_1\right) - \exp\left(-j \frac{4\pi d}{\lambda} \sin \beta_2\right)}{\exp\left(-j \frac{2\pi d}{\lambda} \sin \beta_1\right) - \exp\left(-j \frac{2\pi d}{\lambda} \sin \beta_2\right)} \right| +$$

$$+ \exp \left[ -j \frac{2\pi d}{\lambda} (\sin \beta_1 + \sin \beta_2) \right] \left| - \frac{U_3}{U_1} = 0 ; \quad (1)$$

$$\arg \left\{ \frac{U_2}{U_1} \exp(j\varphi_1) \frac{\exp \left( -j \frac{4\pi d}{\lambda} \sin \beta_1 \right) - \exp \left( -j \frac{4\pi d}{\lambda} \sin \beta_2 \right)}{\exp \left( -j \frac{2\pi d}{\lambda} \sin \beta_1 \right) - \exp \left( -j \frac{2\pi d}{\lambda} \sin \beta_2 \right)} + \right. \\ \left. + \exp \left[ -j \frac{2\pi d}{\lambda} (\sin \beta_1 + \sin \beta_2) \right] \right\} - \varphi_2 = 0 , \quad (2)$$

где  $\beta_1, \beta_2$  - азимутальные углы первого и второго источников радиоизлучения соответственно, отсчитываемые от оси антенны;  $d$  - расстояние по горизонтали между соседними антеннами;  $\lambda$  - длина волны.

Предложенный способ основан на одновременном приеме тремя разнесенными одинаковыми антеннами радиоволн двух источников радиоизлучения, которые не разрешаются диаграммой направленности антенны. Ввиду интерференции этих радиоволн суммарные сигналы в каждой антенне будут отличаться не только по фазам, но и по амплитудам. Измеренная информация о сдвигах фаз и дополнительная информация об амплитудах суммарных сигналов трех разнесенных антенн позволяет определить два азимутальных пеленга источников радиоизлучения.

Способ обеспечивает пеленгование по азимуту двух источников радиоизлучения на одной высокой частоте по сдвигам фаз и отношениям амплитуд сигналов трех разнесенных антенн в случаях, когда эти источники не разрешаются диаграммой направленности антенны.

Необходимость пеленгования двух близких по азимуту источников радиоизлучения имеется, например, в наземном радиолокаторе наведения для пеленгования по азимуту эхо-сигналов воздушной цели и наводимой на нее ракеты. Кроме того, зачастую требуется пеленговать по азимуту полезный сигнал и прицельную радиопомеху для обеспечения работы систем защиты радиотехнических средств различного назначения от таких помех.

Сигналы двух источников радиоизлучения имеют интенсивности одного порядка, принимаются антеннами одновременно и мешают друг другу осуществлять пеленгование известным фазовым способом, используемым в прототипе. Для осуществления возможности пеленгования по азимуту двух источников радиоизлучения предложено осуществлять прием с помощью трех разнесенных одинаковых антенн и трех одинаковых приемников, связанных с этими антеннами. Комплексные амплитуды суммарных напряжений двух источников радиоизлучения на выходах трех приемников определяются следующими соотношениями:

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_{01} + \dot{U}_{02} ; \quad (3)$$

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_{01} \exp\left(-j \frac{2\pi d}{\lambda} \sin \beta_1\right) + \dot{U}_{02} \exp\left(-j \frac{2\pi d}{\lambda} \sin \beta_2\right); \quad (4)$$

$$\dot{U}_3 = \dot{U}_{01} \exp\left(-j \frac{4\pi d}{\lambda} \sin \beta_1\right) + \dot{U}_{02} \exp\left(-j \frac{4\pi d}{\lambda} \sin \beta_2\right), \quad (5)$$

где  $\dot{U}_1, \dot{U}_2, \dot{U}_3$  - комплексные амплитуды суммарных напряжений двух источников на выходах первого, второго и третьего приемников соответственно;  $\dot{U}_{01}, \dot{U}_{02}$  - комплексные амплитуды напряжений первого и второго источников радиоизлучения на выходе первого приемника;  $\beta_1, \beta_2$  - азимутальные углы первого и второго источников радиоизлучения соответственно, отсчитываемые от оси антенны;  $d$  - расстояние по горизонтали между соседними антеннами;  $\lambda$  - длина волны.

Соотношения (3 - 5) получены из геометрии антенной системы. При этом полагалось, что все антенны и приемники одинаковы и оба источника излучают на одной и той же высокой частоте. Из этих соотношений видно, что напряжения на выходах трех приемников отличаются не только по фазам, но и по амплитудам. Это позволяет определить азимутальные пеленги источников  $\beta_1, \beta_2$  по сдвигам фаз и отношениям амплитуд суммарных выходных напряжений трех приемников.

Из (3), (4) можно записать следующее соотношение для отношения комплексных амплитуд выходных напряжений второго и первого приемников

$$\frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} = \frac{U_2}{U_1} \exp(j\varphi_1) = \frac{\exp\left(-j \frac{2\pi d}{\lambda} \sin \beta_1\right) + \frac{\dot{U}_{02}}{\dot{U}_{01}} \exp\left(-j \frac{2\pi d}{\lambda} \sin \beta_2\right)}{1 + \frac{\dot{U}_{02}}{\dot{U}_{01}}}, \quad (6)$$

где  $\varphi_1$  - сдвиг фаз выходных напряжений первого и второго приемников, измеренный первым фазометром 7;  $U_1, U_2$  - амплитуды выходных напряжений первого и второго приемников.

Из соотношения (6) найдем неизвестное отношение  $\dot{U}_{02} / \dot{U}_{01}$  комплексных амплитуд второго и первого источников радиоизлучения на выходе первого приемника, которое будет равно

$$\frac{\dot{U}_{02}}{\dot{U}_{01}} = \frac{\exp\left(-j \frac{2\pi d}{\lambda} \sin \beta_1\right) - \frac{U_2}{U_1} \exp(j\varphi_1)}{\frac{U_2}{U_1} \exp(j\varphi_1) - \exp\left(-j \frac{2\pi d}{\lambda} \sin \beta_2\right)}. \quad (7)$$

Из (4), (6) можно записать соотношение для отношения комплексных амплитуд выходных напряжений третьего и первого приемников

$$\frac{\dot{U}_3}{\dot{U}_1} = \frac{\exp\left(-j\frac{4\pi d}{\lambda}\sin\beta_1\right) + \frac{\dot{U}_{02}}{\dot{U}_{01}}\exp\left(-j\frac{4\pi d}{\lambda}\sin\beta_2\right)}{1 + \frac{\dot{U}_{02}}{\dot{U}_{01}}}. \quad (8)$$

Подставляя в (8) соотношение (7) и находя модуль и аргумент полученного выражения, получим систему двух трансцендентных уравнений (1), (2), которую рекомендуется использовать для определения  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  двух источников радиоизлучения по измеренным фазометрами сдвигам фаз  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  выходных напряжений первого и второго и первого и третьего приемников и по отношениям амплитуд напряжений  $U_2/U_1$ ,  $U_3/U_1$  этих приемников.

Расчеты по формулам (1), (2) показали, что эти два уравнения имеют единственное решение. Это позволяет однозначно пеленговать два источника радиоизлучения по азимуту в пределах ширины диаграммы направленности антенны. При расстояниях между антеннами  $d = \lambda/2$  будет обеспечено также однозначное измерение сдвигов фаз и однозначное пеленгование двух источников в широком азимутальном секторе  $\pm 90^\circ$ .

Операции дополнительного приема сигналов двух источников радиоизлучения с помощью третьей антенны и третьего приемника и дополнительное измерение сдвига фаз выходных напряжений первого и третьего приемников, а также измерение амплитуд напряжений всех трех приемников требуются для обеспечения однозначного определения азимутальных пеленгов двух источников радиоизлучения в случаях, когда они не разрешаются по азимуту диаграммой направленности антенны.

Таким образом, предложенный способ решает поставленную задачу и обеспечивает пеленгование по азимуту двух источников радиоизлучения на одной высокой частоте по сдвигам фаз и отношениям амплитуд сигналов трех разнесенных антенн в случаях, когда эти источники не разрешаются диаграммой направленности антенны. Важным достоинством способа по сравнению с аналогом является также то, что для его реализации не требуется использовать громоздкие антенны с узкой диаграммой направленности, что существенно упрощает технические средства реализации способа.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по основам радиолокационной техники / А.М. Педак, П.И. Баклашов и др. Под ред. В.В. Дружинина. – М.: Воениздат, 1967. – 768 с.

---