

УДК 621 396 67 : 523 164

**ОБ ОТНОШЕНИИ СИГНАЛА К ШУМУ В МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ АКТИВНОЙ И ПАССИВНОЙ АНТЕННЫХ СИСТЕМАХ**

*Г. А. Кузьмина*

Определены условия, которым должны удовлетворять параметры многоэлементной активной антенной системы для получения максимального отношения сигнала к шуму. Показано, что максимум этого отношения слабо зависит от разброса величины коэффициента усиления усилителей. Проведено сравнение активной и пассивной антенных систем по величине сигнал/шум. Получено выражение для коэффициента выигрыша

В антенной технике широко распространены многоэлементные антенные системы. Такие системы дают возможность формировать диаграмму направленности заданной формы, осуществлять электрическое управление диаграммой направленности, вести одновременный прием (или передачу) из нескольких направлений и решать ряд других задач [1].

В общем случае приемная многоэлементная антенная система состоит из  $n$  элементарных антенн, работающих на общую согласованную нагрузку. В зависимости от места включения усилителей различают пассивные и активные многоэлементные системы.

В пассивной системе (рис. 1) усилитель является общим для всех элементов и включен после фидерной системы\*, канализирующей энергию, принимаемую элементарными антеннами к месту сложения. В активной системе у каждой элементарной антенны имеется отдельный усилитель, включенный до фидерной системы (рис. 2). Целью настоя-

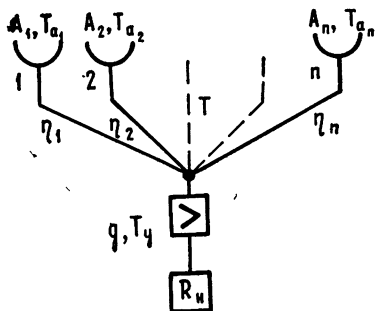


Рис. 1. Пассивная многоэлементная приемная антенная система.

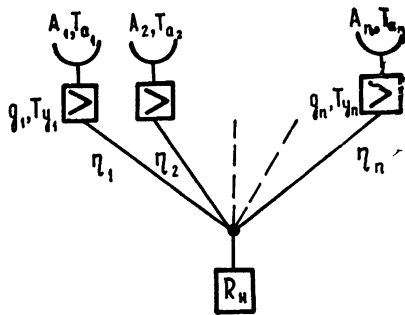


Рис. 2. Активная многоэлементная приемная антенная система.

щей работы является сравнительный анализ активной и пассивной многоэлементных приемных антенных систем с точки зрения отношения сигнала к шуму.

1. *Выбор оптимальных параметров активной системы.* Рассмотрим в общем случае активную многоэлементную систему, состоящую из  $n$

\* В фидерную линию входят также фазовращатели, разветвители и другие элементы линии передачи.

элементарных антенн, имеющих разные эффективные площади  $A_i$  и разные шумовые температуры  $T_{a_i}$ . Система имеет также  $n$  усилителей с коэффициентом усиления по напряжению  $g_i$  и шумовой температурой  $T_{y_i}$ , соединенных с нагрузкой фидерами с коэффициентом полезного действия  $\eta_i$ . Здесь  $i$ —номер антенны ( $i = 1, 2, \dots, n$ ). Выходное сопротивление всех элементарных антенн примем одинаковым и равным  $R_a$ , а систему согласованной, т. е.  $R_n = R_a/n$ , где  $R_n$ —сопротивление нагрузки.

Расчет отношения сигнал/шум проведем для направления максимального приема, при котором напряжения сигнала, создаваемые элементарными антеннами на общей нагрузке, синфазны. Шумы элементарных антенн, усилителей и фидеров будем считать некогерентными. Тогда отношение мощностей сигнала и шума в нагрузке определяется соотношением

$$\frac{P_c}{P_w} = \frac{S \left( \sum_{i=1}^n g_i \sqrt{A_i \eta_i} \right)^2}{k \Delta f \sum_{i=1}^n [g_i^2 (T_{a_i} + T_{y_i}) \eta_i + (1 - \eta_i) T]}, \quad (1)$$

где  $S$ —плотность потока мощности принимаемого сигнала,  $k$ —постоянная Больцмана,  $\Delta f$ —полоса частот приемного устройства,  $T$ —температура фидера (температура окружающей среды).

Для дальнейшего анализа примем, что усиление выбрано достаточно большим, так что

$$g_i^2 \gg \frac{1 - \eta_i}{\eta_i (T_{a_i} + T_{y_i})}. \quad (2)$$

При этом вклад шума фидера значительно меньше шума антенны и усилителя, вторым слагаемым в знаменателе отношения (1) можно пренебречь, соотношение (1) привести к более простому виду:

$$\frac{P_c}{P_w} = \frac{S \left( \sum_{i=1}^n g_i \sqrt{A_i \eta_i} \right)^2}{k \Delta f \sum_{i=1}^n g_i^2 (T_{a_i} + T_{y_i}) \eta_i}. \quad (3)$$

Рассмотрим, в какой связи должны находиться параметры  $A_i$ ,  $T_{a_i}$ ,  $T_{y_i}$ ,  $\eta_i$  и  $g_i$  для того, чтобы отношение сигнал/шум было максимальным. Нетрудно показать, что отношение мощности сигнала к мощности шума в многоэлементной активной приемной антенне будет максимальным, если параметры антенны и усилителей будут связаны соотношением

$$g_i \sqrt{\frac{\eta_i}{A_i} (T_{a_i} + T_{y_i})} = \text{const}. \quad (4)$$

2. *Определение выигрыша по отношению сигнал/шум активной системы по сравнению с пассивной.* Проведем сравнение отношения мощности сигнала к мощности шума для активной и пассивной многоэлементных антенных систем. Отношение сигнал/шум для пассивной системы, полученное таким же (как и для активной системы) путем, имеет вид

$$\left(\frac{P_c}{P_{ш}}\right)_{\text{пас}} = \frac{S \left( \sum_{i=1}^n \sqrt{A_i \eta_i} \right)^2}{k \Delta f \left\{ n T_y + \sum_{i=1}^n [T_{a_i} \eta_i + (1 - \eta_i) T] \right\}}, \quad (5)$$

где  $T_y$  — шумовая температура усилителя.

Выигрыш активной системы по сравнению с пассивной с учетом (3) и (5) может быть выражен соотношением

$$M = \frac{(P_c/P_{ш})_{\text{акт}}}{(P_c/P_{ш})_{\text{пас}}} = \frac{\left( \sum_{i=1}^n g_i \sqrt{A_i \eta_i} \right)^2 \left\{ n T_y + \sum_{i=1}^n [T_{a_i} \eta_i + (1 - \eta_i) T] \right\}}{\left( \sum_{i=1}^n \sqrt{A_i \eta_i} \right)^2 \sum_{i=1}^n g_i^2 (T_{a_i} + T_{y_i}) \eta_i}.$$

Дальнейший анализ проведем для случая  $n$  одинаковых элементарных антенн ( $A_i = A$ ), одинаковых потерь в фидерах ( $\eta_i = \eta$ ), одинаковых шумовых температур антенн и усилителей ( $T_{a_i} = T_a$ ,  $T_{y_i} = T_y$ ), а также одинаковых коэффициентов усиления усилителей ( $g_i = g$ ), что, согласно (4), соответствует оптимальному выбору параметров активной антенной системы. Для этого случая коэффициент выигрыша имеет вид

$$M = 1 + \frac{1 - \eta}{\eta} \frac{T + T_y}{T_a + T_y}. \quad (6)$$

Интересно отметить, что величина выигрыша  $M$  в этом случае не зависит от числа элементарных антенн  $n$ . Действительно, полученное нами выражение (6) согласуется с аналогичным соотношением для одиночной антенны, приведенным в [2].

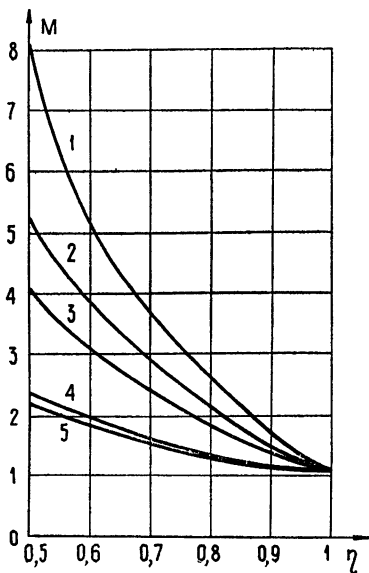
По формуле (6) на рис. 3 построены графики зависимости  $M(\eta)$  при постоянных  $T_a$ ,  $T_y$  и  $T$ . При КПД фидера, равном единице, коэффициент выигрыша  $M = 1$ , т. е. отношение сигнал/шум в активной и пассивной системах одинаков. Это объясняется тем, что при  $\eta = 1$

Рис. 3. Зависимость коэффициента выигрыша  $M = 1 + (1 - \eta)(T + T_y) / \eta(T_a + T_y)$  от КПД фидерной линии  $\eta$ .

Температура фидерной линии принята равной  $T = 293^\circ\text{K}$ , а шумовая температура элементарных антенн  $T_a = 30^\circ\text{K}$ .

Шумовая температура усилителей равна

- 1)  $T_y = 20^\circ\text{K}$ ; 2)  $T_y = 50^\circ\text{K}$ ; 3)  $T_y = 10^\circ\text{K}$ ;
- 4)  $T_y = 900^\circ\text{K}$ ; 5)  $T_y = 3000^\circ\text{K}$ .



фидер не шумит и не уменьшает принимаемый сигнал. При  $\eta < 1$  коэффициент  $M$  превышает единицу и тем больше, чем ниже КПД фидера и чем меньше шумовая температура антенны и усилителя. Это обстоятельство следует иметь в виду при решении вопроса о целесообразности применения активной антенной системы. Так, при больших  $\eta$  и больших  $T_a + T_y$  выигрыш активной системы мал, применение такой системы, требующей дополнительных усилителей, становится недостаточно эффективным.

**3. Оценка уменьшения выигрыша активной системы при отклонении усиления от оптимального.** При рассмотрении вопроса о практической реализации активной многоэлементной антенной системы целесообразно проанализировать, сколько сильно уменьшается выигрыш этой системы по сравнению с пассивной при отклонении параметров от оптимальных, определяемых соотношением (4).

Был рассмотрен случай, когда эффективные площади элементарных антенн, потери в фидерах, шумовые температуры элементарной антенны и усилителя одинаковы, а коэффициенты усиления усилителей имеют технологический разброс, описываемый нормальным законом распределения. Результаты расчета, проведенного по формуле (3), показали, что разброс слабо влияет на отношение сигнал/шум. При относительном среднеквадратичном отклонении  $\sigma = 0,5$  отношение сигнал/шум для активной системы уменьшается не более чем на 10%. Точно так же изменяется и величина выигрыша  $M = (P_c/P_{ш})_{акт}/(P_c/P_{ш})_{пас}$ , так как отношение  $(P_c/P_{ш})$  в пассивной системе не зависит от коэффициента усиления.

В активной многоэлементной антенной системе отношение сигнал/шум увеличивается по сравнению с пассивной антенной системой с такими же элементами. Величина выигрыша, характеризующая это увеличение, тем больше, чем больше потери в фидерах и чем меньше шумовая температура антенны и усилителей.

Существует оптимальное отношение между параметрами элементарных антенн, фидеров и усилителей, при котором выигрыш максимален. При отклонении коэффициентов усиления от оптимальных уменьшение выигрыша незначительно.

Автор считает приятным долгом выразить благодарность М. С. Нейману за интерес к работе и полезные замечания.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Антенные решетки, под редакцией Л. С. Бененсона, изд. Сов. радио, М., 1966
2. А. Д. Кузьмин, А. Е. Саломонович, Радиоастрономические методы измерений параметров антенн, изд. Сов. радио, М., 1964.

Московский авиационный институт

Поступила в редакцию  
8 октября 1968 г.

#### THE SIGNAL-TO-NOISE RATIO IN MULTI-ELEMENT ACTIVE AND PASSIVE ANTENNA SYSTEMS

G. A. Kuz'mina

The conditions which the parameters of multi-element active antenna system must satisfy in order to obtain the maximum signal-to-noise ratio are determined. The maximum of this ratio is shown to depend slightly on the amplification coefficients of amplifiers. The values of signal-to-noise ratios of the active and passive antenna systems are compared. The expression for the gain is obtained.