

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.396

ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕЦЕПТОРЫ СВЧ-ПОЛЯ ДИСКРИМИНАТОРОВ  
ИЗМЕРИТЕЛЕЙ ПАРАМЕТРОВ ВОЛНОВОГО ФРОНТА

Г.А. БАЖЕНОВ, В.В. ЛУЩИЦКИЙ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь,**Поступила в редакцию 12 июля 2005*

Измерения параметров волнового фронта на любом расстоянии от источника излучения (антенной системы) на основе применения общих принципов радиофизики и оптики обусловило появление РТС нового типа с широкими функциональными возможностями для решения ряда прикладных и специальных задач.

*Ключевые слова:* радиотехническая система, волновой фронт, рецептор.

В общем случае волновой фронт характеризуется двумя наклонами — в горизонтальной и вертикальной плоскостях и кривизной. Измерение дальности до источника радиоизлучения и угла места от первоначального сдвига положения вызывает соответствующее изменение наклонов и кривизны волнового фронта в точке приема. При работе источника в дальней зоне кривизна волнового фронта весьма незначительна и фактически не влияет на точность определения наклона, так как на большом удалении волновой фронт принято считать плоским. Однако при нахождении источника излучения в ближней зоне (зоне Френеля) кривизна волнового фронта остается быть значительной и вызванный набег фазы сигнала становится соизмеримым со значениями набега фазы, вызванными его наклоном. Принцип определения расстояния до источника излучения по кривизне волнового фронта показан на рис. 1 [1–3], где очевидным является факт, что  $r = \frac{dl}{d\alpha} = \frac{1}{\kappa}$ , т.е.  $\kappa = d\alpha/dl$  — кривизна волнового фронта.



Рис. 1. Принцип определения расстояния до источника излучения по кривизне волнового фронта

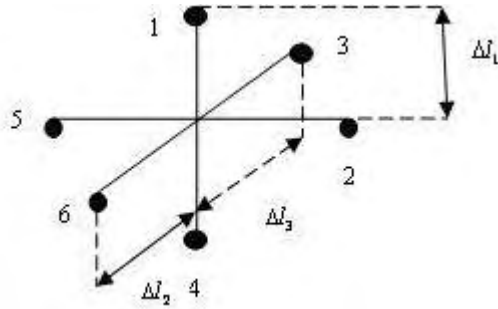


Рис. 2. Эскиз рассматриваемого варианта ( $l$  — геометрический размер раскрыва антенны)

Измерив кривизну волнового фронта, можно однозначно определять дальность до источника излучения, а через соответствующие наклоны — направление на источник излучения. Таким образом, можно считать наклон и кривизну волнового фронта рассеянного (излученного) объектом сигнала пространственными координатами этой цели, находящейся в ближней зоне по отношению к апертуре антенны. Как показано на рис.2. и согласно теореме косинусов [2]

$$R(x, \alpha, r) = \sqrt{r^2 + x^2 - 2rx \sin \alpha} = r \sqrt{1 + \frac{x^2}{r^2} - \frac{2x \sin \alpha}{r}} = r f(x).$$

Полученный радикал представим степенным рядом в виде

$$f(x) = \sqrt{1 + \frac{x^2}{r^2} - \frac{2x \sin \alpha}{r}} \approx f(0) + f'(0)x + f''(0)\frac{x^2}{2} + \dots = 1 - \frac{\sin \alpha}{r}x + \frac{\cos^2 \alpha}{2r^2}x^2 + \dots$$

Отсюда следует, что  $R(x, \alpha, r) \approx r(1 - \frac{\sin \alpha}{r}x + \frac{\cos^2 \alpha}{2r^2}x^2)$ , а разность хода

$$\Delta R(x, \alpha, r) = R(x, \alpha, r) - r \approx x \sin \alpha + x^2 \frac{\cos^2 \alpha}{2r}.$$

В результате фазовое распределение вдоль раскрыва антенны можно представить в виде

$$\varphi(x) = \varphi_0(x) + \Delta\varphi(x) = \varphi_0(x) + \frac{2\pi}{\lambda} \Delta R(x, \alpha, r) = \varphi_0(x) - \frac{2\pi}{\lambda} x \sin \alpha + \frac{2\pi}{\lambda} \frac{x^2}{2r} \cos^2 \alpha,$$

где  $\varphi_0(x)$  — некоторое начальное фазовое распределение, обусловленное множеством аппаратных факторов, которое можно измерить и скомпенсировать заранее. Это время устойчивости определяет продолжительность пространственной когерентности.

При использовании некоторого удаленного источника радиоколечаний ( $r \rightarrow \infty$ ), направление на который совпадало бы с нормалью к раскрыву ( $l = 0$ ), за счет чего соответственно устранились бы третье и второе слагаемые, после юстировки начальное фазовое распределение может быть полностью скомпенсировано, т.е.  $\varphi_0(x) - \varphi_{юст}(x) = 0$ . В результате фазовое распределение вдоль раскрыва будет определяться слагаемым  $2\pi/\lambda x \sin \alpha$  (т.е. наклоном волнового фронта), и слагаемым  $\frac{2\pi}{\lambda} \frac{x^2}{2r} \cos^2 \alpha$  (т.е. кривизной волнового фронта). Для двух точек раскрыва антенной системы, симметрично расположенных относительно его центра, отсчет фазы фиксированного сигнала производится следующим образом:

$\varphi_1 = \varphi(-x_0) = \frac{2\pi}{\lambda} (x_0 \sin \alpha + \frac{x^2}{2r} \cos^2 \alpha)$  и  $\varphi_2 = \varphi(x_0) = \frac{2\pi}{\lambda} (-x_0 \sin \alpha + \frac{x^2}{2r} \cos^2 \alpha)$ . Поэтому можно проведением соответствующей обработки сигнала зафиксировать (выделить) либо раз-

ность, либо сумму рассматриваемых фаз, а именно:  $\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{4\pi}{\lambda} x_0 \sin \alpha$ ,

$\varphi_1 + \varphi_2 = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{x_0^2}{r} \cos^2 \alpha$ , где первый результат информативен относительно наклона волнового фронта ( $\alpha$ ), а второй — информативен относительно кривизны волнового фронта, т.е. расстояния до источника излучения ( $r$ ).

Таким образом, организация построения суммарно-разностных каналов, а значит, и конструктивного исполнения приемно-информационного рецептора электромагнитного поля по раскрытию антенной системы будет во многом определять структуру построения систем автоматического слежения, настройки дискриминаторов измерителей параметров волнового фронта таких малопараметрических РТС, работа которых основана на способности формирования диаграммы фокусировки и управления ею по пространству в области наблюдения за объектом. Рецептор обеспечивает формирование сигналов ошибки с использованием элементарных сигналов по всему раскрытию антенной системы, например, фазированной антенной решетки (ФАР). Выполнение когерентного суммирования этих элементарных сигналов в заданной области пространства позволяет уменьшить ошибку измерения в  $N$  раз, где  $N$  — число элементов ФАР. (Чтобы уменьшить ошибку измерения, необходимо увеличить число приемных сигналов, что вызывает усложнение структуры организации дискриминатора.)

Расширение функциональных возможностей РТС за счет единовременного измерения наклонов и кривизны волнового фронта возможно с помощью шестиэлементного рецептора, у которого каждая "осевая" пара элементов отвечает за определенную координату в картинной плоскости и радиальном направлении, а также за счет увеличения числа элементарных сигналов, принимающих участие в формировании сигналов-ошибки. Эскиз конструктивного исполнения такого устройства, представленного на рис. 3,а, выполняет измерение напряженности поля сфокусированного пространственного сигнала по координатам  $X, Y, Z$  в точке фокусировки. Устройство состоит из трех пар элементов – рецепторов, ориентированных в плоскостях  $X, Y, Z$ , которые могут быть металлическими проводниками, соединенными под углом девяносто градусов друг к другу, и объединенными по выходу разностными устройствами, образуя три информационных канала обработки. Причем их общий центр должен совпадать с местонахождением фокуса ФАР. Эффективные линейные размеры зоны фокусировки определяются выражениями:

$$\Delta X = \delta\theta_x R_c = \frac{\lambda}{L_x} R_c; \Delta Y = \Delta\theta_y R_c = \frac{\lambda}{L_y} R_c; \Delta Z = \delta R = \frac{\pi\lambda}{L_x L_y} R_c^2,$$

которые определяют геометрические размеры длины проводников рецептора, где  $L_x, L_y$  — линейные размеры ФАР;  $\delta\theta_x, \delta\theta_y$  и  $\delta R$  — разрешающие способности РТС по наклонам и по дальности [3];  $R_c$  — расстояние до источника излучения;  $\lambda$  — длина волны.

Напряжения на выходах элементарных рецепторов соответствуют отклонению напряженности СВЧ поля от точки фокуса по соответствующей координате. Сравнивая попарно напряжения, согласно методу амплитудного сравнения (с использованием разностных устройств и формирующих фильтров), получаем три сигнала ошибки, пропорциональные отклонениям (рассогласованиям) по наклонам и кривизне волнового фронта. Таким образом, значения сигналов ошибки однозначно характеризуют отклонение источника радиоизлучения от выбранного (истинного) своего положения. Это позволяет с помощью измерения параметров волнового фронта определять местоположение источника, а также создавать системы автоматического слежения, системы самонастройки, адаптивные РТС.

Эскизы структуры построения таких устройств показаны на рис.3,а-г для шести-пяти-четырёхэлементных информационных рецепторов, в которых присутствует запоминающее устройство и наряду с параллельной присутствует последовательная обработка. В случае форми-

рования идеальной симметричной зоны фокусировки в картинной плоскости возможны иные подходы к решению поставленного вопроса.

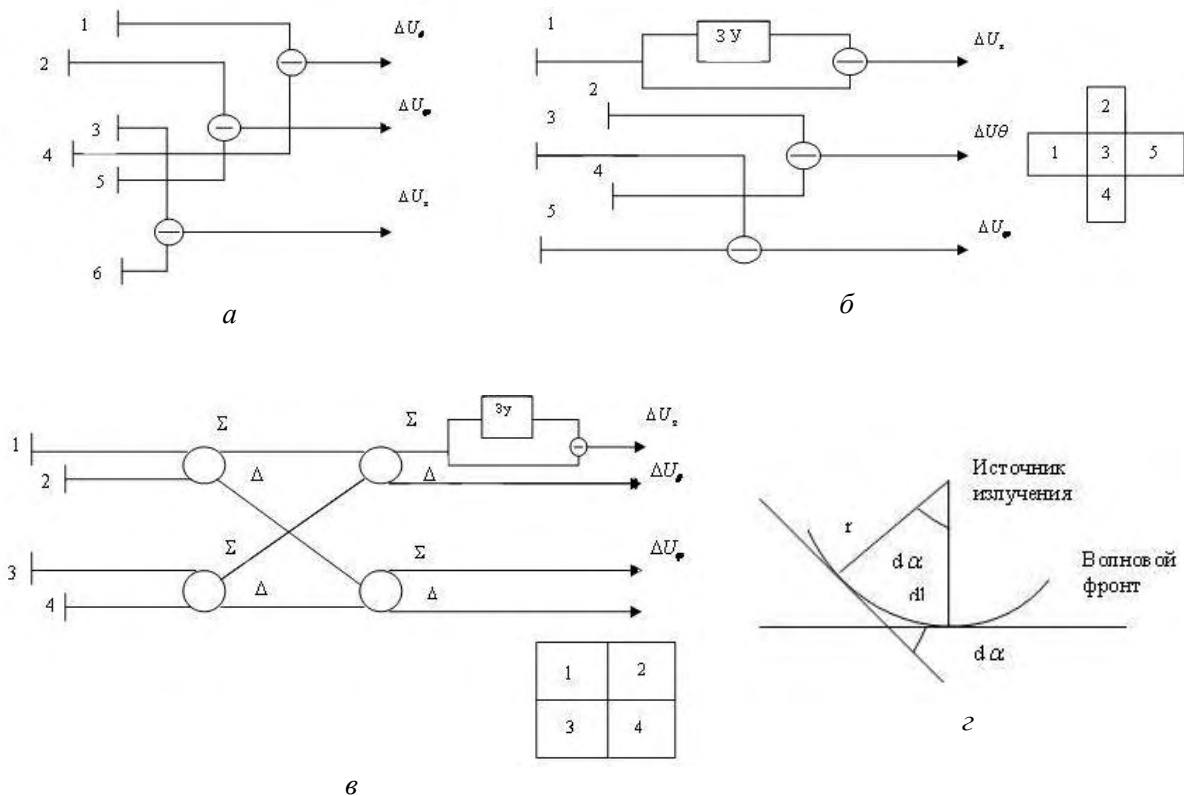


Рис. 3. Эскизы структур построения рецепторов: а), б) — шестиэлементного рецептора, в) — пятиэлементного рецептора, г) — четырехэлементного рецептора

## INFORMATION RECIPTORS OF A MICROWAVE – FIELD OF DISCRIMINATORS MEASURERES OF WAVE FRONT.

H.A. BASHENAU, V.V. LUSHCHYTSKI

### Abstract

The measurements of parameters of wave front on any distance from a source of radiation (aerial of system) on the basis of application of general principles of radiophysics and optics were caused by occurrence radiotechnical system of a new type with wide functionalities for the decision of a number of applied and special tasks.

### Литература

1. Охрименко А.Е. Основы извлечения, обработки и передачи информации. Ч. 1. Минск, 1994.
2. Охрименко А.Е. Основы обработки и передачи информации. Минск, 1990.
3. Радиотехника и электроника. Сб. статей. Вып. 22. Формирование, передача и прием сигналов в РТС. Минск, 1994.