

УДК 621.396.66 (045)

Ильницкий Л. Я., д-р техн. наук,  
Тураби Осама

## НЕНАПРАВЛЕННАЯ АНТЕННА С ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ

Институт электроники и систем управления Национального авиационного университета

*Рассматривается ненаправленная антенна с вращающейся поляризацией, которая обеспечивает всенаправленный приём в горизонтальной плоскости, а также приём сигнала с круговой и линейной поляризацией.*

### Введение

В последнее время существенно возросло использование электромагнитных волн с круговой поляризацией. Это обусловлено тем, что круговая поляризация повышает надёжность связи с мобильными объектами и даёт возможность уплотнять радиолинию, которая работает на одной длине волны, двумя каналами с противоположным направлением вращения векторов напряжённости поля. В некоторых случаях, например, при радиомониторинге электромагнитной обстановки необходимо иметь антенну с круговой или эллиптической поляризацией, которая была бы ненаправленной в горизонтальной плоскости. Такая антенна не только обеспечивает всенаправленный приём в горизонтальной плоскости, но и обеспечивает существенный уровень принимаемого сигнала линейной и круговой поляризации. Очевидно, что при использовании антенны фиксированной поляризации определённого вида возможны также и случаи поляризационной развязки, что усложняет контроль электромагнитной обстановки.

### Постановка задачи

Исходя из вышеизложенного антенна системы радиомониторинга должна быть самонастраивающаяся на поляризацию принимаемой волны. Для построения такой антенны используем два элемента: один из них ненаправленная антенна в горизонтальной плоскости вертикальной поляризации, а второй – ненаправленная антенна в горизонтальной плоскости, но горизонтальной поляризации. По сути эта совокупность антенн реализует разложе-

ние электромагнитной волны любой заданной поляризации в линейном ортогональном поляризационном базисе на две составляющие.

### Основные аналитические соотношения

Для простоты теоретического анализа возьмём в качестве первого элемента симметричный вибратор и расположим его вертикально. Очевидно [1], что вибратор в произвольно выбранной точке возбудит электрическое поле с напряжённостью

$$\dot{E}_\theta = i \frac{I_{A1}}{2\pi r \sin kl} W_C \frac{\cos(kl \cos \theta) - \cos kl}{\sin \theta} e^{-ikr}, \quad (1)$$

где  $I_{A1}$  – ток на зажимах вибратора,  $l$  – длина плеча вибратора,  $W_C = 120\pi$  Ом – волновое сопротивление среды,  $\theta$  – угол между осью вибратора и направлением в точку наблюдения,  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$  – волновое число,  $\lambda$  – длина волны,  $r$  – расстояние от фазового центра антенны до точки наблюдения.

Вторым элементом антенны пусть будет кольцевой излучатель [2]. Напряжённость электрического поля кольцевого излучателя определяется как

$$\dot{E}_\phi = \frac{60\pi k a I_{A2}}{r} J_1(ka \sin \theta) e^{-ikr}, \quad (2)$$

где  $a$  – радиус кольца,  $I_{A2}$  – ток в кольце,  $J_1(ka \sin \theta)$  – функция Бесселя первого порядка от аргумента  $ka \sin \theta$ .



Очевидно, что при совмещённых фазовых центрах обоих излучателей расстояние  $r$  будет в формулах (1) и (2) иметь одинаковое значение.

Для горизонтальной плоскости угол  $\theta$  становится равным нулю. Поэтому формулы (1) и (2) упрощаются

$$\dot{E}_\theta = i \frac{I_{A1}}{2\pi r \sin kl} W_C (1 - \cos kl) e^{-ikr}$$

и

$$\dot{E}_\varphi = \frac{60\pi k a I_{A2}}{r} J_1(ka) e^{-ikr}.$$

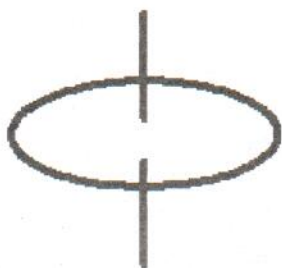


Рис. 1. Схема антенны

Из выражений (3) следует, что антенна, схема которой изображена на рис. 1, создаёт ненаправленное излучение в горизонтальной поляризации с поляризационным отношением

$$\tilde{p} = \frac{\dot{E}_\theta}{\dot{E}_\varphi} = i \frac{I_{A1}(1 - \cos kl)}{I_{A2}\pi k a J_1(ka) \sin kl}.$$
 (4)

Если токи питания находятся в фазе и выполняется равенство

$$I_{A1} \frac{(1 - \cos kl)}{\sin kl} = J_{A2} \pi k a J_1(ka),$$
 (5)

то поляризация волны будет круговой.

Если фаза тока  $I_{A2}$  будет отставать от фазы тока  $I_{A1}$  на  $90^\circ$ , то поляризация будет линейной. Плоскость поляризации в пространстве занимает положение под углом  $\gamma$  к вертикали, который определяется соотношением

$$\gamma = \arctg \frac{\pi k a J_1(ka) \sin kl}{1 - \cos kl} \frac{I_{A2}}{I_{A1}}.$$
 (6)

Как видно из правой части формулы (6), положение плоскости поляризации в пространстве можно изменять от нуля при  $I_{A2} = 0$  до  $90^\circ$  при  $I_{A1} = 0$ .

В общем случае поляризация волны будет эллиптической. Причём оси эллипса совпадают с вертикалью и горизонталью лишь в случае синфазности токов  $I_{A1}$  и  $I_{A2}$ . Для изменения положения оси поляризационного эллипса необходимо изменять не только отношение амплитуд токов питания, но и их фазовый сдвиг.

### Реализация теоретических положений

Исходя из этих соображений, структурную схему антенной системы ненаправленной в горизонтальной плоскости и с управляемой поляризацией можем построить так, как это изображено на рис. 2. Здесь для большей наглядности кольцевой излучатель  $A_2$  и симметричный вибратор  $A_1$  разнесены, хотя конструктивно они должны быть объединены так, чтобы их фазовые центры совпадали. В этом случае поляризационные свойства антенны не будут зависеть от направления на источник излучения.

Напряжения с выходов антенн  $A_1$  и  $A_2$  поступают в устройства симметрирования и согласования (УСС<sub>1</sub> и УСС<sub>2</sub>), после которых сигнал может канализоваться с помощью коаксиального кабеля. В канале 2 (канале кольцевой антенны) имеется устройство уравнивания действующих длин антенн (УУ). Коэффициент передачи этого устройства обладает нулевой фазой, т.е. не сдвигает фазу тока, который протекает в канале 2. Значение коэффициента передачи УУ определяется из равенства действующих длин антенн. Для симметричного вибратора действующая длина равна:

$$l_{a1} = \frac{\lambda}{\pi} \operatorname{tg} \frac{kl}{2}.$$
 (7)

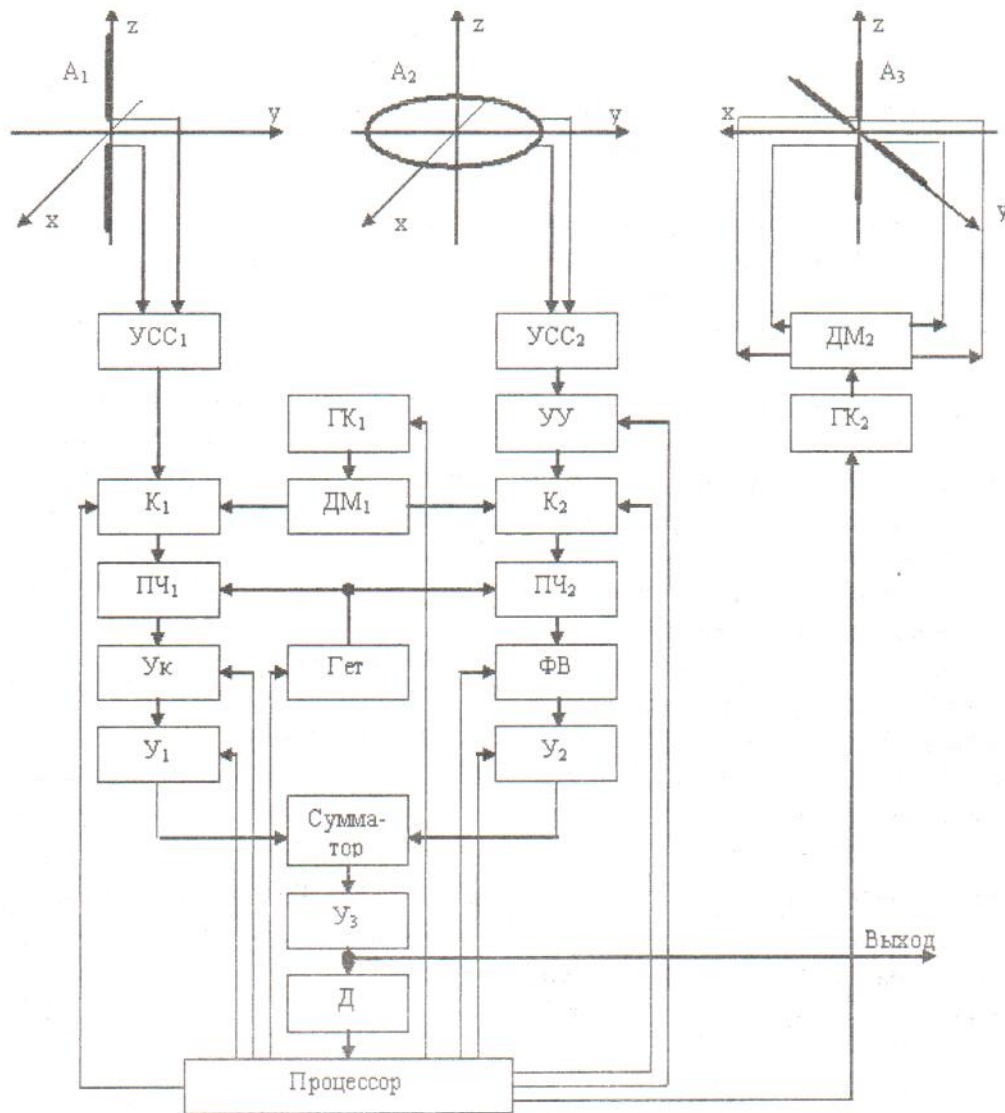


Рис. 2. Структурна схема антенної системи

Для кільцевої антени діючою довжину знайдемо з допомогою формули:

$$l_{\text{д}} = \frac{E_{\text{max}} r}{30kI_A} \quad (8)$$

и вираження (2). Из вираження (2) знайдемо  $E_{\text{max}} r$  и отримуємо:

$$l_{\text{д}2} = 2\pi a J_1(ka). \quad (9)$$

Вираження (7) и (9) визначають коефіцієнт передачі пристрою урівноваження

$$a_y = \frac{l_{\text{д}1}}{l_{\text{д}2}} = \frac{\text{tg} \frac{kl}{2}}{\pi ka J_1(ka)}. \quad (10)$$

При значенні коефіцієнта передачі урівноважуючого пристрою, ко-

торое определено из вираження (10), сигнали антен  $A_1$   $A_2$  на входах коммутаторов  $K_1$  и  $K_2$  будут с точностью до постоянного множителя соответствовать двум составляющим напряженности электрического поля, полученным при разложении вектора напряженности в линейном ортогональном поляризационном базисе. Если  $a_y > 1$ , то уравнивающее устройство целесообразно включить в тракт канала 1, поскольку его тогда можно выполнить на пассивных элементах в виде аттенюатора.

Коммутаторы  $K_1$  и  $K_2$  позволяют осуществить калибровку канала 1 (антенны  $A_1$ ) и канала 2 (антенны  $A_2$ ). Для этого



в режиме калибровки отключаются антенны и присоединяется генератор калибровки ГК<sub>1</sub> напряжение с которого делится на две равных части с помощью делителя мощности ДМ<sub>1</sub>.

В режиме измерений сигналы с выходов антенн поступают на преобразователи частоты ПЧ<sub>1</sub> и ПЧ<sub>2</sub>, которые понижают частоту сигналов при сохранении фазовых соотношений. Это достигается тем, что на вторые входы преобразователей частоты прикладывается одно и то же напряжение, которое формируется генератором Гет. Амплитуда напряжения в канале 1 проходит через устройство коррекции УК, а сигнал в канале 2 проходит через управляемый фазовращатель ФВ. Оба сигнала усиливаются идентичными усилителями У<sub>1</sub> и У<sub>2</sub>. Они отличаются лишь значениями модулей коэффициента передачи. Усилитель У<sub>1</sub> канала 1 обладает коэффициентом усиления

$$K_1 = A \cos \beta,$$

а усилитель У<sub>2</sub> канала 2 –

$$K_2 = A \sin \beta,$$

где  $A$  – некоторый постоянный множитель.

Напряжение на выходе усилителя У<sub>1</sub> принимает вид

$$\dot{U}_1 = K_k A \dot{E}_\theta l_d \cos \beta, \quad (11)$$

а на выходе У<sub>2</sub>

$$\dot{U}_2 = i K_k A \dot{E}_\psi l_d \sin \beta e^{i\psi}, \quad (12)$$

где  $K_k$  – сбалансированные коэффициенты передач каналов 1 и 2,  $l_d$  – уравновешенные действующие длины антенн,  $\psi$  – фазовый сдвиг, который приобретает сигнал в канале 2, проходя через фазовращатель Ф.

Введем для краткости выражений следующее обозначение

$$A_0 = K_k A l_d,$$

тогда выражения (11) и (12) запишутся в виде

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= A_0 \dot{E}_\theta \cos \beta \\ \dot{U}_2 &= i A_0 \dot{E}_\psi \sin \beta e^{i\psi} \end{aligned} \right\}. \quad (13)$$

После суммирования высокочастотных напряжений  $\dot{U}_1$  и  $\dot{U}_2$  и их усиления в  $a$  раз получим

$$U_\Sigma = a A_0 (\dot{E}_\theta \cos \beta + i \dot{E}_\psi \sin \beta e^{i\psi}). \quad (14)$$

В самом общем виде можем записать, что

$$\left. \begin{aligned} \dot{E}_\theta &= \dot{E} \cos \alpha \\ \dot{E}_\psi &= \dot{E} e^{i\psi_B} \sin \alpha \end{aligned} \right\}, \quad (15)$$

где  $\dot{E}$  – комплексная амплитуда напряженности электрического поля принимаемой волны;  $\psi_B$  – фазовый сдвиг между составляющими вектора напряженности при разложении его в ортогональном поляризованном базисе;  $\alpha$  – угловой параметр, который определяет соотношение амплитуд составляющих вектора напряженности поля (угол эллиптичности).

Используя соотношение (15) в выражении (14), найдём, что

$$\dot{U}_\Sigma = a A_0 \dot{E} \left[ \cos \alpha \cos \beta + \sin \alpha \sin \beta e^{i\left(\frac{\pi}{2} + \psi + \psi_B\right)} \right]. \quad (16)$$

Из выражения (14) следует, что амплитуда напряженности  $\dot{U}_\Sigma$ , которая определяется с помощью детектора Д, принимает максимальное значение, если

$$\left. \begin{aligned} \beta &= \alpha \\ \frac{\pi}{2} + \psi + \psi_B &= 0 \end{aligned} \right\}. \quad (17)$$

Таким образом, процессор по максимуму  $\dot{U}_\Sigma$  определяет необходимое значение угла  $\beta$  и устанавливает требуемое значение коэффициентов передачи усилителей У<sub>1</sub> и У<sub>2</sub>. Затем, изменяя фазовый сдвиг  $\psi$  с помощью фазовращателя Ф настраиваем антенну на максимум принимаемого сигнала. Данные о параметрах сигнала выводятся на дисплей.

Конструкция антенной системы с единым фазовым центром может выполняться с использованием биконического вибратора (вертикальная линейная поляризация) и кольцевой антенны (горизонтальная поляризация).



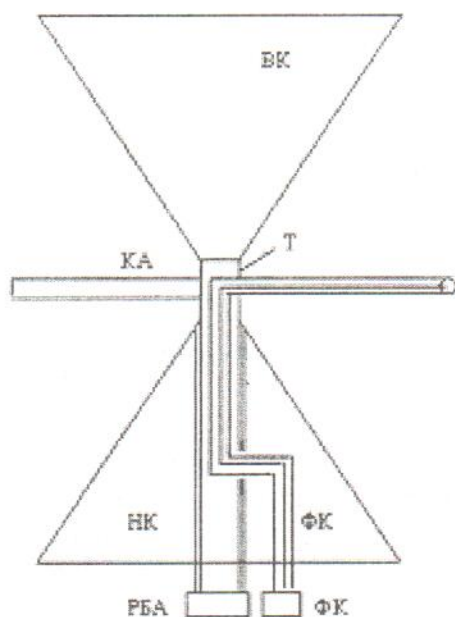


Рис. 3. Разрез конструкции антенны

В этом случае легко обеспечить подвод отдельных фидеров к зажимам элементов антенной системы. На рис. 3 представлен разрез конструкции антенны. Верхний конус биконической антенны крепится на металлической трубке Т, внутри которой проложен фидер кольцевой антенны КА. Питание кольцевой антенны осуществляется известным способом [1,2] с помощью трехпроводной линии. На этом же фидере крепится механически кольцевая антенна через отверстия в трубке Т. Через нижний конус НК проходит труба большего диаметра, представляющая собой наружную оплётку жёсткого коаксиала. Внутри конуса НК в обеих трубах вырезаны отверстия, через которые выводится фидер кольцевой антенны ФКА. За пределами внутреннего объёма нижнего конуса ФКА заканчивается разъемом РКА, к которому подключается коаксиальный кабель канала горизонтальной поляризации. Жёсткий коаксиал, присоединённый к зажимам биконической антенны, также заканчивается разъемом РБА, к которому подключается фидер канала вертикальной поляризации. Кольцевая антенна находится в плоскости симметрии биконической антенны, поляризационно с ней развязана и поэтому

взаимное влияние этих двух элементов антенной системы минимальное.

### Выводы

По результатам проведённого исследования можно сделать следующие выводы:

1. Современные антенны станций мониторинга должны самонастраиваться (адаптироваться) на поляризацию принимаемых электромагнитных колебаний.

2. В случае контроля территорий с большим количеством радиосредств антенны станций радиомониторинга должны быть ненаправленными в горизонтальной плоскости.

3. Наиболее полную информацию о поляризационных параметрах и напряженности поля обеспечивают антенны, в которых используется разложение вектора напряженности электрического поля в линейном ортогональном поляризационном базисе.

4. Поскольку исследуемая электромагнитная волна раскладывается на две составляющие, которые обрабатываются отдельно, то необходимо обеспечить соответствующую калибровку каналов обработки сигналов.

5. Калибровка каналов обработки сигналов может быть полной и всеохватывающей, если использовать контрольный передатчик ГК2 и антенну А3, которая излучает волны с плоскостью поляризации под углом в  $45^{\circ}$  к выбранной системе координат.

6. Конструкция всенаправленной антенны с адаптивной поляризацией может состоять из биконического вибратора и кольцевой антенны.

### Список литературы

1. Ільницький Л. Я., Савченко О. Я., Сібрук Л. В. Антени та пристрої надвисоких частот: Підручник для НВЗ/З ред. Л. Я. Ільницького. – К.: Укртелеком, 2003. – 496 с.
2. Драбкин А. Л., Зузенко В. Л., Кислов А. Г. Антенно-фидерные устройства. – М.: Сов. Радио, 1974. – 536 с.