

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

## РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Лабораторный практикум

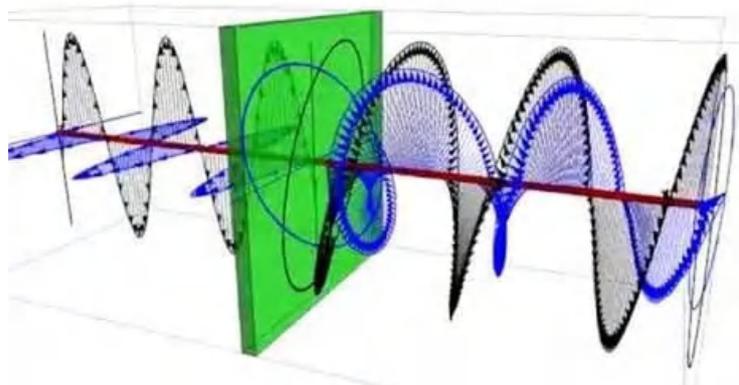


Томск

Методические указания по выполнению лабораторной работы для студентов специальности 11.05.01 – Радиоэлектронные системы и комплексы.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ**  
**УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**  
**(ТУСУР)**

**Кафедра радиотехнических систем**  
**(РТС)**



**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИОННО-АМПЛИТУДНОЙ**  
**УГЛОМЕРНОЙ СИСТЕМЫ**

**РАЗРАБОТЧИКИ**

Доцент каф. РТС, к.т.н.  
В.Л. Гулько

Доцент каф. РТС, к.т.н.  
А.А. Мещеряков

Зав. лаб. каф. РТС  
Н.К. Блинковский

**2017**

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Одним из методов улучшения тактико-технических характеристик радиотехнических систем является использование векторных свойств радиоволн, т.е. использование различных поляризационных эффектов, возникающих в радиолокационном канале или канале связи.

Настоящее руководство предназначено для подготовки и проведения лабораторной работы, посвященной исследованию подобных методов на примере поляризационно-амплитудной угломерной системы.

### **Целью работы является:**

- изучение возможности использования поляризации радиоволн для улучшения тактико-технических характеристик радиотехнических систем;
- изучение принципа работы и особенностей построения поляризационно-амплитудных угломерных систем;
- ознакомление с работой поляризационно-амплитудной угломерной системы при определении пеленга подвижного объекта.

Поляризационно-амплитудная угломерная система предназначена для определения направления (пеленга) на радиомаяк. Последний состоит из двух пространственно разнесенных на некоторое расстояние между собой когерентных источников излучения электромагнитных волн с равными амплитудами, начальными фазами и длинами волн и имеющих ортогональную линейную поляризацию.

Пеленг на радиомаяк определяется на борту подвижного объекта (ПО) по измеренному отношению амплитуд сигналов с выходов плеч линейно поляризационного разделителя (ЛПР) ориентированного под углом 45 град к плоскости измерений. Точность определения пеленга определяется конструкцией излучающей системы, а не направленными свойствами приемной антенны, что является весьма удобным при расположении приемного устройства на подвижном объекте с жесткими ограничениями на габариты антенны.

## 2. ПОЛЯРИЗАЦИЯ РАДИОВОЛН И ЕЁ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

### 2.1. Поляризация электромагнитных волн

Поляризация – общее свойство всех типов векторных волн. Этим свойством обладают электромагнитные волны, для которых поляризация полностью определяется изменением во времени  $t$  вектора напряженности электрического поля  $\vec{E}(\vec{r}, t)$ , наблюдаемого в фиксированной точке пространства  $\vec{r}$ . Считают, что волна обладает той или иной поляризацией в зависимости от того, какой вид имеет годограф вектора напряженности электрического поля.

Различают полностью поляризованные, частично поляризованные и неполяризованные волны.

В полностью поляризованной волне конец вектора  $\vec{E}$  описывает эллипс, форма и ориентация которого не зависят от времени.

Годограф (т.е. кривая, описываемая концом вектора за время его движения) вектора электрического поля частично поляризованной волны представляет собой эллипс, форма, ориентация и размеры которого непрерывно изменяются во времени. При этом скорость изменения параметров эллипса обычно намного меньше той скорости, с которой конец вектора  $\vec{E}$  описывает каждый эллипс.

Если рассматривать различные направления  $\vec{l}$  в фазовом фронте волны, то среднее за время наблюдения значение квадрата амплитуды вектора  $\vec{E}$  для частично поляризованной волны оказывается зависящей от выбора направления  $\vec{l}$ .

Неполяризованная волна характеризуется такими флуктуациями поляризованного эллипса, при которых среднее за время наблюдения значение квадрата напряженности электрического поля имеет одну и ту же величину для любого направления в фазовой плоскости волны.

Наиболее часто для решения различных прикладных задач радиолокации, радионавигации или радиосвязи используют полностью поляризованные электромагнитные волны, точнее волны, которые с достаточной степенью приближения могут считаться такими.

Годографом вектора напряженности электрического поля полностью поляризованной волны является некоторый эллипс, называемый эллипсом поляризации или поляризационным эллипсом. Внутри этого эллипса вектор  $\vec{E}$  совершает регулярное движение – вращение с периодически изменяющейся скоростью, причем полный оборот происходит за период несущей частоты. Начальное положение вектора  $\vec{E}$  внутри эллипса определяет фазу эллиптически поляризованной волны.

Для количественной характеристики поляризации волны пользуются геометрическими параметрами поляризационного эллипса (рис. 2.1).

Форму эллипса обычно характеризуют отношением осей (коэффициентом эллиптичности)  $r$ , абсолютная величина которого

$$|r| = \frac{b}{a}, \quad (2.1)$$

где  $b$  и  $a$  – малая и большая полуоси эллипса.

Величине  $r$  приписывается тот или иной знак в зависимости от направления вращения вектора поля. Если при наблюдении вдоль направления распространения волны вектор  $\vec{E}$  обходит поляризационный эллипс по часовой стрелке, то величину  $r$  считают положительной. Волна в этом случае называется правополяризованной. При вращении вектора поля против часовой стрелки волна будет левополяризованной, а отношение осей – отрицательным.

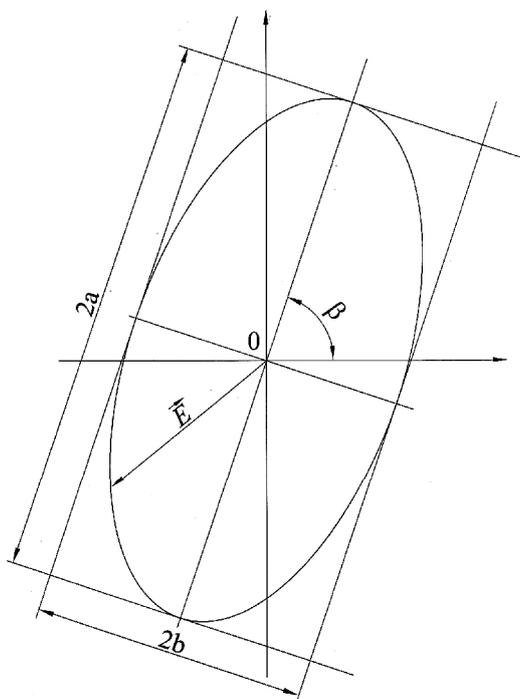


Рис. 2.1. Геометрические параметры поляризационного эллипса

Ориентация поляризационного эллипса в фазовой плоскости волны определяется углом  $\beta$  между большой осью эллипса и осью абсцисс выбранной прямоугольной системы координат. Из условия однозначного определения положения эллипса значения угла ориентации  $\beta$  ограничивается пределами

$$0 \leq \beta < \pi$$

Круговая и линейная поляризации являются частными случаями более общего состояния эллиптической поляризации и получаются, когда эллиптичность  $r$  принимает особые значения, равные  $r = \pm 1$  или нулю. Значение  $r = +1$  соответствует состоянию правой круговой поляризации, тогда как  $r = -1$  соответствует состоянию левой круговой поляризации. При  $r = 0$  волна линейно поляризована. Отметим, что обе круговые поляризации имеют неопределенную ориентацию  $\beta$  и что все линейные поляризации не имеют направления обхода.

Состояние поляризации электромагнитной волны так же можно описать с помощью векторов Джонса [2], представленных в различных поляризационных базисах.

Например, эллиптически поляризованная волна (наиболее общий случай) может быть разложена на две ортогонально поляризованные составляющие, каждая из которых характеризуется своей амплитудой и фазой:

$$\vec{E} = \dot{E}_1 \cdot \vec{e}_1 + \dot{E}_2 \cdot \vec{e}_2.$$

Каждая пара ортогонально поляризованных векторов  $\vec{e}_1$  и  $\vec{e}_2$  единичной длины  $|\vec{e}_{1,2}| = 1$ , т.е. ортонормированных векторов, образует так называемый поляризационный базис. Поляризационных базисов может быть бесконечное множество. Они отличаются эллиптичностью (как отношением малого и

большого диаметров эллипсов) и углом ориентации. Однако наиболее широкое распространение получили два поляризационных базиса: линейный и круговой. Линейный базис составляют два пульсирующих вектора с горизонтальной и вертикальной поляризацией единичной длины. Круговой базис составляют два вращающихся вектора с круговой поляризацией (правой и левой) единичной длины.

## 2.2. Элементы радиотехнических систем, использующих поляризованные эффекты

В зависимости от назначения и конструктивных особенностей радиотехнических систем, в которых используются поляризационные эффекты, в них могут быть различными приемно-передающие устройства. Общими в этих системах являются используемые высокочастотные элементы, позволяющие производить различные поляризационные преобразования.

Обязательным элементом радиотехнической системы является **антенное устройство**, осуществляющее прием и излучение электромагнитных волн. Из теории взаимности следует, что поляризационные свойства антенны в режимах приема и передачи совпадают, т.е. если антенна излучает поле некоторой фиксированной поляризации, то и принимать она будет поле той же фиксированной поляризации.

Простейшим типом антенны являются рупорные антенны, нагруженные на волновод. Предельным случаем такой антенны является открытый конец волновода.

Наибольшее распространение получили прямоугольные волноводы, по которым могут распространяться только волны, вектор напряженности электрического поля которых параллелен узкой стенке волновода. Таким образом, рупорная антенна, нагруженная на прямоугольный волновод, как и вибраторная антенна, осуществляет прием (или передачу) линейно поляризованных волн. Плоскость поляризации этих волн параллельна узкой стенке волновода.

Когда использовать две по-разному поляризованные антенны по конструктивным или принципиальным соображениям невозможно, применяют специальные устройства СВЧ-тракта для разделения полей с различной поляризацией – **поляризационные разделители**. Каждый канал поляризационного разделителя аналогичен по своим функциям оптическому поляризатору, пропускающему только одну компоненту произвольно поляризованного светового потока.

Обычно в волноводных трактах применяются прямоугольные волноводы. Такие волноводы не могут использоваться во входном плече поляризационного разделителя, т.к. в них распространяется только один основной тип волны с ориентацией вектора электрического поля в одной плоскости. Для передачи произвольно поляризованных полей необходимо обеспечить симметрию для двух ортогонально поляризованных волн. Этому условию удовлетворяют квадратный и круглый волноводы.

Для разделения в общем случае эллиптически поляризованной волны на две ортогональные линейно поляризованные компоненты в основном применяются различного рода **тройниковые переходы** с волновода круглого сечения на два ортогонально расположенных прямоугольных волновода.

На рис. 2.2 а) представлена конструкция такого тройникового перехода. Разделение волны происходит следующим образом. В круглом волноводе имеет место волна типа  $TE_{11}$ , силовые линии электрического поля которой распределяются, в поперечном сечении тройника, как показано на рис. 2.2 б). На входе прямоугольного волновода на некотором расстоянии от места соединения они оказываются ориентированными вдоль узких стенок прямоугольных волноводов, вследствие чего будет обеспечено условие возбуждения волны типа  $TE_{01}$  в обоих волноводах.

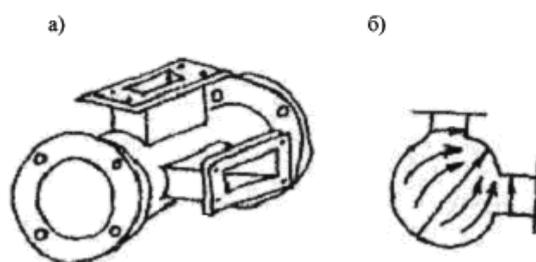


Рис. 2.2. Волноводный линейный поляризационный разделитель

### 2.3. Общие физические принципы работы поляризационных угломерных систем

Из геометрических соотношений, приведенных на рис. 2.3, следует, что, если расположить в горизонтальной плоскости симметрично относительно начала некоторой системы координат два источника излучения (в точках  $S_1$  и  $S_2$ ), то разность расстояний  $\Delta l$  от этих источников до любой удаленной точки  $A$ , в которой находится ПО однозначно (в пределах одной полуплоскости) связана с направлением на эту точку. Причем эта связь задается соотношением

$$\Delta l = d \sin \alpha,$$

где  $d$  – расстояние (база, по аналогии с фазовыми пеленгаторами) между источниками излучения;

$\alpha$  – угловая координата точки  $A$  или пеленг ПО

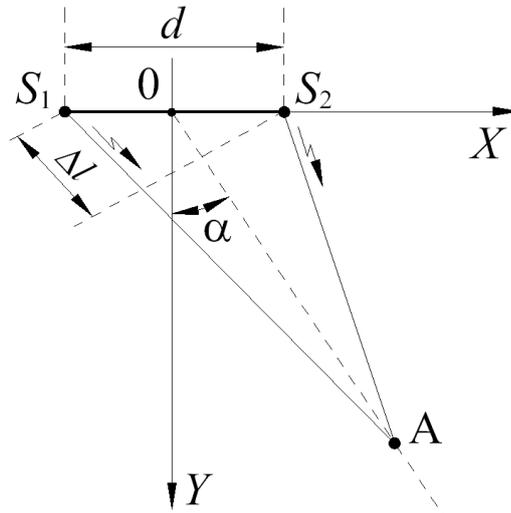


Рис. 2.3. Геометрические соотношения при работе поляризационной угломерной системы

Если расположить в точке А приемное устройство и принимать излучение обоих источников, то, очевидно, за счет геометрической разности хода  $\Delta l$  лучей от источников  $S_1$  и  $S_2$  сигналы, наведенные в приемной антенне излучениями источников будут сдвинуты по фазе на величину

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi d}{\lambda} \sin \alpha, \quad (2.2)$$

где  $\lambda$  – длина волны излучения источников (предполагается, что длины волн источников совпадают, а излучаемые волны синфазны).

Соотношение (2.2) может быть представлено в виде

$$\alpha = \arcsin \frac{\Delta\varphi\lambda}{2\pi d}. \quad (2.3)$$

Откуда следует, что по измеренному значению разности фаз  $\Delta\varphi$  может быть рассчитана угловая координата точки А в заданной системе координат ХОУ. Поскольку фазометрические системы обеспечивают однозначное измерение разности фаз в некотором конечном интервале  $\pm\Delta\varphi_0$ , однозначное измерение углов  $\alpha$  возможно в секторе

$$\pm\alpha_0 = \arcsin \left( \pm \frac{\Delta\varphi_0\lambda}{2\pi d} \right)$$

Для измерения разности фаз между сигналами, наведенными в приемной антенне излучениями двух источников, необходимо каким-то образом разделить эти сигналы. В поляризационных угломерных системах для этого используют векторные свойства электромагнитных волн, т.е. из точек  $S_1$  и  $S_2$  излучают волны, поляризации которых ортогональны, а в точке А принятую суммарную волну разделяют с помощью поляризационного разделителя на две ортогональные компоненты, поляризации которых совпадают с поляризациями излучаемых волн. Разность фаз сигналов с плеч поляризационного разделителя при этом равна разности фаз волн от источников. Это обусловлено тем, что волны источников  $S_1$  и  $S_2$  поляризованы ортогонально, и каждая из них

наводит сигнал только в плече разделителя, согласованном с ней по поляризации.

## 2.4. Анализ радиолокационного канала на основе использования векторов и матриц Джонса

Используем представление плоской однородной электромагнитной волны вектором Джонса [2]. Тогда излучаемые радиомаяком ортогонально линейно поляризованные волны на направлении  $\alpha$  могут быть представлены вектором Джонса результирующей волны в линейном поляризационном базисе, опуская временную зависимость, в виде [3]

$$\vec{E}_p = \frac{1}{\sqrt{2}} \left\{ \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} e^{j\Delta\varphi} \right\}, \quad (2.4)$$

где  $\Delta\varphi$  - фазовый сдвиг между ортогонально линейно поляризованными волнами в точке приема на ПО.

После преобразования выражение (2.4) можно переписать в следующем виде

$$\vec{E}_p = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ e^{j\Delta\varphi} \end{bmatrix}. \quad (2.5)$$

Наличие множителя  $1/\sqrt{2}$  в выражении (2.5) обусловлено принятой для удобства единичной интенсивностью результирующей волны. Из (2.5) следует, что суперпозиция ортогонально линейно поляризованных волн одинаковой амплитуды, но с разным фазовым сдвигом (2.4), приводит в общем случае к эллиптической поляризации результирующей волны (2.5). При этом угол ориентации эллипса поляризации  $\beta$  может принимать значения

$$\beta = (2n + 1) \frac{\pi}{4}, \quad (2.6)$$

где  $n$  - целое число, два из которых, с учетом пределов изменения по определению [2], имеют значения

$$\beta_1 = \frac{\pi}{4} \text{ при } 0 \leq \Delta\varphi < \frac{\pi}{2}, \quad (2.7)$$

$$\beta_2 = \frac{3\pi}{4} \text{ при } \frac{\pi}{2} < \Delta\varphi \leq \pi. \quad (2.8)$$

При этом модуль коэффициента эллиптичности  $|r|$  меняется в пределах

$$|r| = (0 \div 1) \text{ при } 0 \leq \Delta\varphi \leq \frac{\pi}{2}, \quad (2.9)$$

и

$$|r| = (1 \div 0) \text{ при } \frac{\pi}{2} \leq \Delta\varphi \leq \pi. \quad (2.10)$$

В случаях, когда  $\Delta\varphi = \pi/2$  (при переходе через круговое состояние поляризации результирующей волны) происходит скачек изменения угла ориентации эллипса поляризации от значения  $\beta_1 = \pi/4$  к значению  $\beta_2 = 3\pi/4$ . В случаях, когда угловое положение ПО соответствует значениям фазового сдвига  $\Delta\varphi = 0$  или  $\Delta\varphi = \pi$ , результирующая волна поляризована линейно с углом ориентации вектора электрического поля  $\beta_1 = \pi/4$  и  $\beta_2 = 3\pi/4$  соответственно.

Таким образом, поляризованные характеристики результирующей волны  $\vec{E}_p$  зависят от направления излучения и, в общем случае, имеет эллиптическую поляризацию, в то время как ее интенсивность, в силу поляризационной ортогональности излучаемых волн, от направления излучения не зависит.

## 2.5. Особенности построения поляризационно-амплитудных угломерных систем

Конкретная реализация поляризационно-амплитудной угломерной системы зависит от ее назначения и целого ряда технико-экономических факторов, таких как: диапазон волн, в котором должна работать система, требования к точности и быстродействию измерений, требования к показателям массы и габаритов и т.п.

В ряде случаев одним из основных требований к системе является простота ее реализации. При этом желательно исключить из устройства фазометрические элементы и ограничиться применением только амплитудных измерений, как наиболее просто технически реализуемых. Принцип действия такой системы пояснен на рис. 2.4. Допустим что, источники  $S_1$  и  $S_2$  излучают ортогонально линейно поляризованные волны с равными амплитудами, начальными фазами и длинами волн.

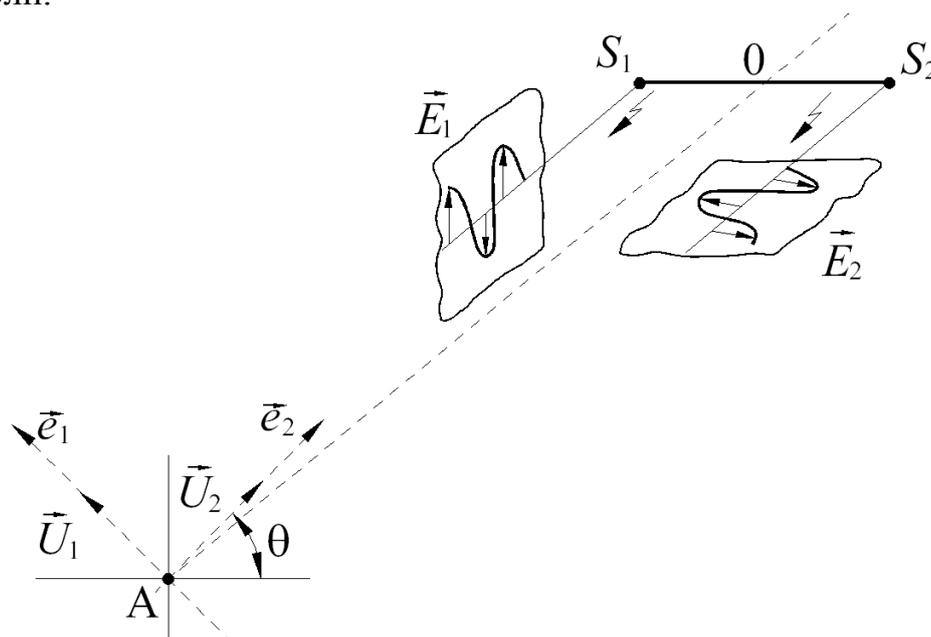


Рис. 2.4. Ориентация ортов  $\vec{e}_1$  и  $\vec{e}_2$  линейного поляризованного разделителя относительно горизонтальной плоскости измерений

Предположим, что на борту ПО антенной осуществляется прием результирующей волны (2.5) в СВЧ тракте которой установлен ЛПР. ЛПР ориентирован так, что орты его базиса  $\vec{e}_1$  и  $\vec{e}_2$  составляют в общем случае угол  $\theta$  с плоскостями поляризации  $\vec{E}_1$  и  $\vec{E}_2$  излучаемых волн (рис. 2.4). Тогда вектора Джонса  $\vec{U}_1$  и  $\vec{U}_2$  выходных сигналов ЛПР в линейном поляризационном базисе, опуская временную зависимость сигналов, могут быть найдены с помощью преобразования вида [1]

$$\vec{U}_1 = [\Pi_1][R(\theta)]\vec{E}_p, \quad (2.11)$$

$$\vec{U}_2 = [\Pi_2][R(\theta)]\vec{E}_p, \quad (2.12)$$

где  $[R(\theta)] = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}$  - оператор поворота на угол  $\theta$  [2];

$[\Pi_1] = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$  - оператор поляризатора первого плеча ЛПР (переход с

круглого волновода на прямоугольный) с вертикальной собственной поляризацией;

$[\Pi_2] = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$  - оператор поляризатора второго плеча ЛПР (переход с

круглого волновода на прямоугольный) с горизонтальной собственной поляризацией.

После преобразование (2.6) и (2.7) примут вид

$$\vec{U}_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ -\sin\theta + \cos\theta e^{j\Delta\varphi} \end{bmatrix}, \quad (2.13)$$

$$\vec{U}_2 = \begin{bmatrix} \cos\theta + \sin\theta e^{j\Delta\varphi} \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (2.14)$$

Найдем отношение амплитуд сигналов  $U_1$  и  $U_2$  на выходе плеч ЛПР, ориентированного в общем случае под углом  $\theta$ :

$$\frac{U_1}{U_2} = \sqrt{\frac{1 - \sin 2\theta \cos \Delta\varphi}{1 + \sin 2\theta \cos \Delta\varphi}}. \quad (2.15)$$

Подставляя в (2.15)  $\theta = 45^\circ$  получим

$$\frac{U_1}{U_2} = \sqrt{\frac{1 - \cos \Delta\varphi}{1 + \cos \Delta\varphi}} = \left| \operatorname{tg} \frac{\Delta\varphi}{2} \right|, \quad (2.16)$$

откуда следует, что

$$\Delta\varphi = \pm 2 \operatorname{arctg} \frac{U_1}{U_2} \pm n2\pi, \quad (2.17)$$

где  $n = 0, 1, 2, \dots$

Подставляя (2.17) в (2.3), получим выражение для расчета угловой координаты точки А (относительно оси  $OY$ ) по измеренному отношению амплитуд сигналов с плеч поляризационного разделителя в виде

$$\alpha = \arcsin \left[ \frac{\lambda}{\pi d} \left( \pm \operatorname{arctg} \frac{U_1}{U_2} \pm n\pi \right) \right]. \quad (2.18)$$

На рис. 2.5 представлена зависимость отношения амплитуд  $U_1/U_2$  от направления на точку А для  $d/\lambda = 3/2$ . Из рисунка видно, что эта зависимость неоднозначна. Ширина зоны однозначного отсчета  $\Delta\alpha$  в районе направлений, близких к нулевому, может быть определена из соотношения (2.18) подстановкой  $n = 0$  и  $U_1/U_2 = \infty$ , т.е.

$$\Delta\alpha = \arcsin \frac{\lambda}{2d}. \quad (2.19)$$

Для  $\frac{d}{\lambda} = \frac{3}{2}$  -  $\Delta\alpha = 19,5^\circ$ .

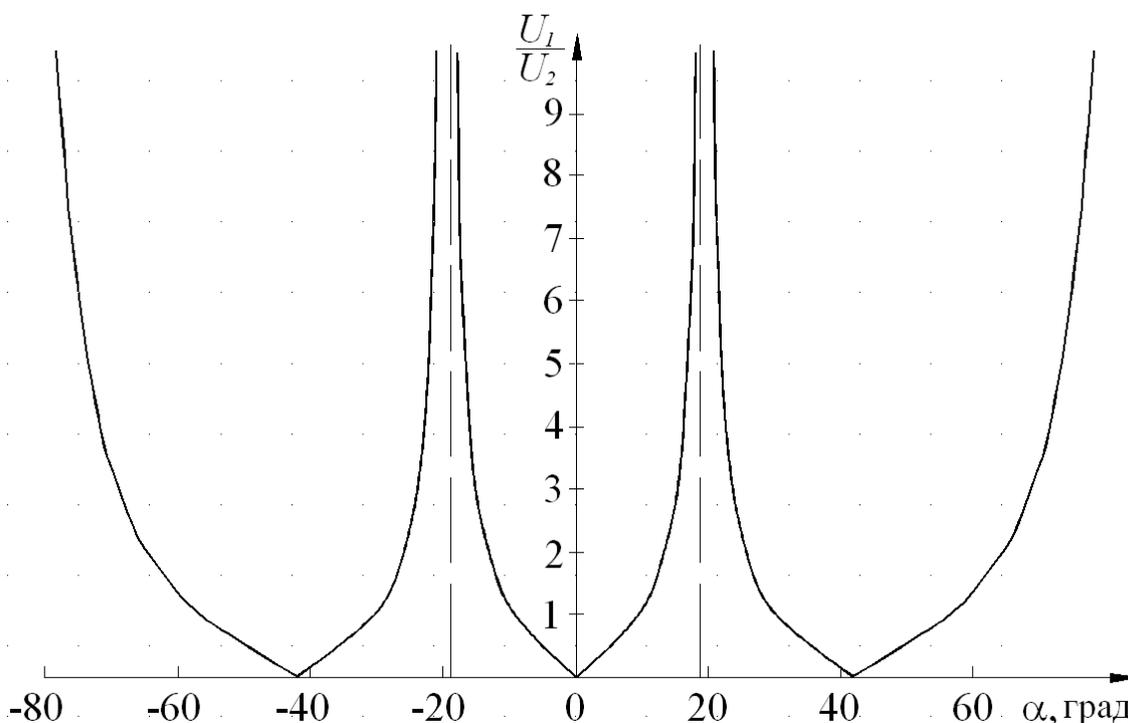


Рис. 2.5 Зависимость отношения амплитуд  $U_1/U_2$  от направления на точку А для  $d/\lambda = 3/2$

Зависимость измеряемого отношения  $U_1/U_2$  от угловой координаты точки, в которой это соотношение измеряется, может быть названа пеленгационной характеристикой поляризационно-амплитудной угломерной системы. Из рис. 2.5 видно, что наименьшую крутизну пеленгационная характеристика имеет в точке  $\alpha = 0$ . Пользуясь соотношениями (2.16) и (2.2), можно показать, что крутизна пеленгационной характеристики в точке  $\alpha = 0$  определяется соотношением:

$$\frac{d\left(\frac{U_1}{U_2}\right)}{d\alpha} = \frac{d}{d\alpha} \operatorname{tg}\left(\frac{\pi d}{\lambda} \sin \alpha\right) \Big|_{\alpha=0} = \frac{\pi d}{\lambda}. \quad (2.20)$$

Исходя из практических соображений, всякая угломерная система должна иметь возможно большую зону однозначного отсчета и, для обеспечения высокой точности измерений, возможно большую крутизну пеленгационной характеристики. Анализируя соотношения (2.19) и (2.20), приходим к выводу, что для поляризационно-амплитудных систем эти требования противоречивы, т.к. для увеличения зоны однозначного отсчета необходимо уменьшать базу  $d$ , а для получения более высокой крутизны пеленгационной характеристики необходимо ее увеличивать. Разрешение этого противоречия возможно в многобазовых поляризационно-амплитудных системах.

Строго говоря, производная функции (2.16) в точке  $\alpha = 0$  не существует, так как она различается знаком при стремлении  $\alpha$  к точке нуль справа и слева. Соотношение (2.20) справедливо, поскольку внутри зоны однозначности знак  $\alpha$  не изменяется.

### 3. ЛАБОРАТОРНЫЙ МАКЕТ ПОЛЯРИЗАЦИОННО-АМПЛИТУДНОЙ СИСТЕМЫ

Структурная электрическая схема лабораторного макета изображена на рис. 3.1. Макет состоит из излучающей системы и приемной системы, расположенных на расстоянии 2,5-7 м друг относительно друга.

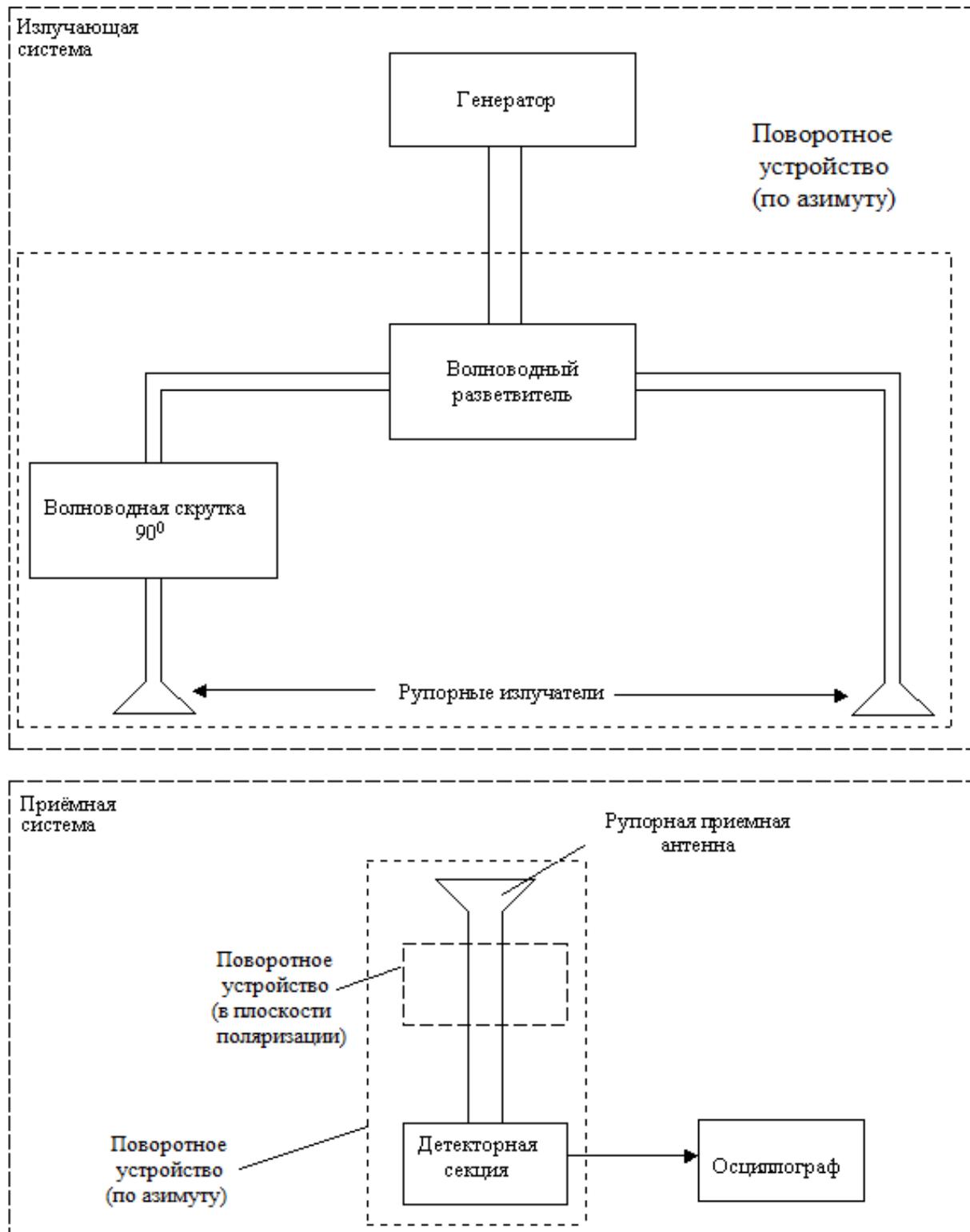


Рис. 3.1. Структурная схема лабораторного макета

Источником излучения служит генератор Г4-83, работающий в 3-х сантиметровом диапазоне волн в режиме амплитудной модуляции прямоугольными импульсами.

Сигнал генератора Г4-83 по коаксиальному кабелю поступает на волноводный разветвитель (Т-образный мост), где делится по мощности на равные части и далее по волноводам поступает на рупорные антенны.

Рупорные антенны, излучают линейно-поляризованные волны, у которых плоскости поляризации параллельны узкой стороне раскрытия соответствующего рупора. Для того, чтобы излучаемые волны были ортогонально поляризованы, в один из волноводных трактов, питающих рупоры, введена волноводная скрутка на  $90^\circ$ . Волноводная скрутка позволяет изменить пространственную ориентацию вектора электрического поля.

Для вращения рупорных антенн излучающей системы (части) в плоскости азимута используется поворотное устройство.

Начальное (нулевое) угловое положение (главная оптическая ось) должно соответствовать ориентации перпендикуляра к базе излучающих антенн в направлении на максимум диаграммы направленности рупорной приемной антенны (рис. 3.2).

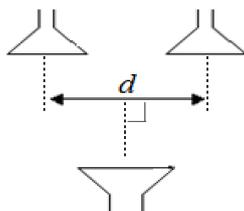


Рис. 3.2. Начальное (нулевое) угловое положение рупорных антенн в плоскости азимута

Приемная система представляет собой приемный канал прямого усиления с индикацией выходного сигнала на осциллографе. Антенна приемной системы выполнена в виде прямоугольного рупора и в поляризационном отношении представляет собой линейный поляризатор, т.е. реагирует на линейно поляризованное излучение, плоскость поляризации которого параллельна узкой стороне раскрытия рупора.

Рупорная антенна, волновод, соединяющий ее с детекторной секцией, и детекторная секция приемной системы закреплены в механическом поворотном устройстве. С помощью поворотного устройства можно вращать приемную антенну вокруг ее геометрической оси и тем самым менять ориентацию плоскости поляризации принимаемого излучения. Это позволяет имитировать наличие поляризованного разделителя в приемном канале. При этом сигналы, эквивалентные сигналам с плеч поляризованного разделителя, получаются последовательно при двух ориентациях приемной антенны, сдвинутых на  $90^\circ$ .

## 4. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

4.1. Изучить описание лабораторной работы и ответить на контрольные вопросы.

4.2. Ознакомиться с макетом поляризационно-фазовой угломерной системы.

4.3. Включить генератор излучения, осциллограф и источник питания приемника.

4.4. На шкалах поворотных устройств установить нулевое угловое положение в плоскости азимута для излучающих и приемной антенн по наблюдению на осциллографе максимального значения амплитуды прямоугольных импульсов.

4.5. С помощью осциллографа снять зависимость амплитуды выходного сигнала (прямоугольных импульсов) от ориентации плоскости поляризации принимаемого сигнала в пределах  $\pm 90^\circ$  от вертикали через  $10^\circ$ , объяснить результаты.

4.6. С помощью осциллографа снять экспериментально зависимость амплитуды выходного сигнала приемной системы от углового положения излучающих рупорных антенн в пределах  $\pm 45^\circ$  (использовать поворотное устройство в азимутальной плоскости для излучающей части), при ориентации приемного рупора, соответствующей вертикальной поляризации.

4.7. Измерить базу поляризационно-фазового пеленгатора (излучающая часть). Рассчитать ширину зоны однозначного отсчета и крутизну пеленгационной характеристики поляризационно-фазового пеленгатора.

4.8. С помощью осциллографа снять экспериментально зависимость отношения амплитуд сигналов  $U_1/U_2$  от углового положения в азимутальной плоскости излучающих рупорных антенн в пределах  $\pm 30^\circ$ . Амплитуды сигналов снимаются при ориентации приемного рупора относительно вертикали: плюс  $45^\circ$  соответствует амплитуде выходного сигнала  $U_1$ , минус  $45^\circ$  соответствует амплитуде выходного сигнала  $U_2$ . Для удобства измерения уровня сигнала в качестве амплитуды выходного сигнала измерять размах (рис. 3.3) прямоугольного сигнала.

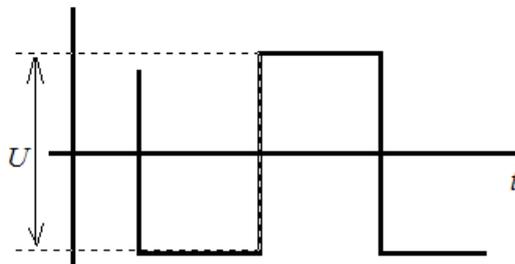


Рисунок 3.3 – Измерение уровня выходного сигнала

4.9. По экспериментальной зависимости  $U_1/U_2 = f(\alpha)$  определить ширину зоны однозначного отсчета и крутизну пеленгационной характеристики. Сравнить с результатами теоретического расчета и результатами п. 4.6, сделать выводы.

4.10. Исследовать экспериментально, зависят ли результаты измерения угловой координаты  $\alpha$  от ориентации геометрической оси приемной антенны в

азимутальной плоскости. Для этого зафиксировать поворотное устройство излучающей системы в положении  $0^\circ$ , после чего, изменяя ориентацию приемной антенны в азимутальной плоскости, снять зависимость отношения  $U_1/U_2$  (см. п. 4.8 задания) от ориентации приемной антенны. Объяснить полученные результаты.

## 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

5.1. На основе какого физического явления в поляризационных угломерных системах осуществляется разделение сигналов от двух источников излучения.

5.2. Дайте определение поляризационного базиса и возможные варианты представления электромагнитной волны.

5.3. Объясните принцип работы поляризационно-амплитудной угломерной системы.

5.4. Какими параметрами системы определяется ширина зоны однозначного отсчета угла?

5.5. Какими параметрами системы определяется крутизна пеленгационной характеристики.

5.6. Каким образом в поляризационно-амплитудной угломерной системе фазовые измерения можно заменить амплитудными.

5.7. Какие параметры поляризационных угломерных систем влияют на точность измерения угла.

## 6. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

6.1 Пат. 2 507 530 РФ, МПК G 01 S 3/02. Радионавигационная система для измерения пеленга подвижного объекта / В.Л. Гулько (РФ). – № 2 012 130 403/ 07; заявл. 17.07.12; опубл. 20.02.14.

6.2 Аззам Р. Эллипсометрия и поляризованный свет / Р. Аззам, Н. Башара. – М.: Мир, 1981. – 583 с.

6.3 Гулько В.Л., Мещеряков А.А. Поляризационно-модуляционный метод измерения пеленга подвижного объекта с помощью угломерных радиомаячных систем // Доклады ТУСУРа, № 2 (36), июнь 2015, с. 5-9.