#### МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

#### Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет»

Кафедра радиоэлектронных устройств и систем

#### ОСНОВЫ ТЕОРИИ СИСТЕМ И КОМПЛЕКСОВ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ БОРЬБЫ

#### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ №1,2 для студентов специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы» очной формы обучения

Воронеж 2022

#### Составитель:

Р.В. Кузьменко

Основы теории систем и комплексов радиоэлектронной борьбы: методические указания к выполнению лабораторных работ №1,2 для студентов специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы» очной формы обучения/ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: Р.В. Кузьменко. - Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2022. - 35 с.

В соответствии с рабочей программой дисциплины приведены описания методов измерений и методик выполнения лабораторных работ, изложены теоретические сведения, лежащие в основе теории систем и комплексов радиоэлектронной борьбы. По каждой лабораторной работе в описание включены: цель, используемое оборудование и приборы, схема лабораторной установки, порядок подготовки и проведения работы, таблицы для экспериментальных данных, перечень положений, которые необходимо отразить в выводах, и контрольные вопросы.

Издание предназначено для студентов очной формы обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле методуказания ОТСиКРБ Лабы 1-2.docx

Библиогр.: 3 названия

#### УДК 621.391.083.92 ББК 32.811.3

Рецензент: Доктор технических наук, заведующий кафедрой «Конструирования и производства радиоаппаратуры» Башкиров А.В.

Издается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета

## СОДЕРЖАНИЕ

#### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

# Выполнение каждой лабораторной работы предусматривает несколько этапов:

- 1. Изучение теоретического материала по соответствующей теме.
- 2. Изучение описания работы.
- 3. Изучение описаний измерительных приборов.
- 4. Подготовка ответов на контрольные вопросы.
- 5. Предварительное оформление рабочего отчета; запись в тетрадь названия и цели работы, расчетных формул, изображение схемы измерений, таблиц для измеренных и вычисленных величин, координатных осей графиков и т. д.
- 6. Уточнение задания и порядка выполнения работы, выяснение у преподавателя непонятных положений теории и эксперимента.
- 7. Проведение эксперимента.
- 8. Обработка полученных экспериментальных результатов.
- 9. Оформление отчета о проделанной работе.
- 10. Защита результатов лабораторной работы.

#### Отчет о проделанной работе должен содержать:

- 1. Название работы.
- 2. Цель работы.
- 3. Схемы измерений.
- 4. Расчетные формулы.
- 5. Таблицы измеренных и вычисленных величин.
- 6. Графики экспериментальных зависимостей и осциллограммы.
- 7. Оценки погрешностей измерений.
- 8. Выводы.

Изучение теоретического материала по соответствующей теме, изучение описания работы, предварительное оформление рабочего отчета выполняются до начала лабораторного занятия на подготовительном этапе, Проведение обработка экспериментальных эксперимента, полученных результатов выполняются в учебной лаборатории. Проведение измерений осуществляется под контролем преподавателя в точном соответствии с приведенной в описании каждой работы последовательностью действий. Любые отклонения от предлагаемого порядка выполнения работы или дополнительные измерения должны быть предварительно обсуждены с преподавателем во избежание порчи приборов и поражения электрическим током. Отчеты о лабораторных работах записываются в отдельной тетради. Порядок следования отчетов в тетради должен строго соответствовать очередности выполнения работ.

## «ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО УЛЬТРАКОРОТКОВОЛНОВОГО ПЕЛЕНГАТОРА АРП-6Д»

#### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- 1.1. Изучение принципов действия устройства ультракоротковолновых радиопеленгаторов.
- 1.2. Исследование радиопеленгатора типа АРП-6Д.

## 2. НАЗНАЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ТАКТИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАДИОПЕЛЕНГАТОРА АРП–6Д

Ультракоротковолновый радиопеленгатор АРП–6Д предназначен для определения пеленга (азимута) самолёта по излучению его бортовой радиостанции типа Р-801, Р-802, Р-832. Он представляет собой пассивное радиолокационное устройство и используется для целей навигации и управления воздушным движением.

Устройство пеленгатора позволяет наблюдать одновременно азимуты двух самолётов.

Прием сигналов пеленгуемого самолета осуществляется с помощью радиостанции Р-802. Радиостанция может быть в то же время использована для двусторонней телефонной связи с ним.

Пеленгатор АРП-6Д называется автоматическим, поскольку после настройки приёмника на частоту источника сигнала его пеленг высвечивается в виде линии на экране электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) без каких-либо действий со стороны оператора.

В свое время пеленгатор выпускался в четырех модификациях: для установки в кузове автомобиля ГАЗ-66, на судах, в палатках, на санных полозьях.

Диапазон частот радиопеленгатора – 100-150 МГц. Радиопеленгатор может работать на любой из двадцати фиксированных частот каждой их двух радиостанций, входящих в его комплект. Время перехода с одной частоты на другую – не более 5 секунд.

Ошибка пеленгования самолетной радиостанции – не более 2°.

Дальность действия – 80 и 150 км при пеленговании самолетной радиостанции P-802 и высоте полета самолета – 1000 и 3000 метров.

Электропитание осуществляется от однофазной сети переменного тока напряжением 220 В.

## 3. ПРИНЦИПЫ ДЕЙСТВИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ РАДИОПЕЛЕНГАТОРОВ С Н-ОБРАЗНЫМИ АНТЕННАМИ

В основе работы пеленгатора лежит использованиеН-образных антенн.

Н-образная антенна состоит из двух вертикальных вибраторов, разнесенных в пространстве менее, чем на длину волны пеленгуемого передатчика. Сигналы с выходов вибраторов подаются на общую нагрузку противофазно, так что выходное напряжение можно рассматривать как их векторную разность. Структурная схема Н-образной антенны и векторная диаграмма напряжений в характерных точках приведены на рис. 3.1.



Рис.3.1. Структурная схема Н-образной антенны и векторная диаграмма сигналов в Н-образной антенне

Каждый из вибраторов представляет собой ненаправленную в горизонтальной плоскости антенну. Поэтому их выходные сигналы можно представить формулами:

$$u_1(t) = U_{M1} \cos\left(\omega_c t + y_1 - \frac{\varphi}{2}\right),$$

$$u_2(t) = U_{M2} \cos\left(\omega_c t + y_1 + \frac{\varphi}{2}\right),$$
(3.1)

Где  $U_{M1}$ ,  $U_{M2}$ - амплитуды, не зависящие от угла прихода волны,  $\omega_c$  -несущая частота,

$$\omega_c = 2\pi \frac{1}{\alpha} \sin \alpha \tag{3.2}$$

-разность фаз сигналов  $U_1(t)$  и  $U_2(t)$ ,

l – расстояние между вибраторами,

*а*- направление на источник сигнала, отсчитанное от нормали к линии, соединяющей вибраторы,

у – начальная фаза сигнала в геометрическом центреантенны.

Амплитуду  $U_{\Delta 1}$  разностного сигнала  $\Delta(t)$  найдем по правилам векторного сложения

$$U_{\Delta 1} = \sqrt{U_{M1}^2 + U_{M2}^2 - 2U_{M1}U_{M2}\cos\left(2\pi\frac{1}{\alpha}\sin A\right)}$$
(3.3)

Полагая  $U_{M1}=U_{M2}=U_{M3}$ , имеем из (3.3) для амплитуды разностного сигнала

$$U_{\Delta 1} = 2U_M \left| \sin \left( \pi \frac{1}{\alpha} \sin \alpha \right) \right|. \tag{3.4}$$

Полностью разностный сигнал записывается в виде

$$\Delta_1(t) = 2U_M \sin\left(\pi \frac{1}{\alpha} \sin \alpha\right) \cos\left(\omega_c t + y_1 - \frac{\pi}{2}\right). \tag{3.5}$$

Формулу (3.4) можно рассматривать как диаграмму направленности Нобразной антенны. Если  $l < \alpha$ , что имеет место в рассматриваемом пеленгаторе, диаграмма направленности имеет вид восьмерки с нулями, ориентированными перпендикулярно линии, соединяющей вибраторы. Диаграмма направленности Н-образной антенны представлена на рис. 3.2.



Рис.3.2. Диаграмма направленности Н-образной антенны

Для пеленгования по методу амплитудного сравнения в АРП–6Д используются две Н-образные антенны, оси которых расположены в пространстве под углом 90°, как показано на рис. 3.3.



Рис.3.3. Антенная система пеленгатора АРП–6Д. А<sub>3</sub>-А<sub>B</sub>, А<sub>C</sub>-А<sub>Ю</sub>- Н-образные антенны, А<sub>0</sub> – ненаправленная антенна

Если выходной сигнал  $\Delta_1(t)$  Н-образной антенны  $A_3$ - $A_B$  (запад-восток) описывается уравнением (3.5), то выходной сигнал антенны  $A_C$ - $A_H$  (север-юг) будет

$$\Delta_2(t) = 2U_M \sin\left(\pi \frac{1}{\alpha} \cos \alpha\right) \cos\left(\omega_c t + y_1 - \frac{\pi}{2}\right)$$
(3.6)

Подадим сигналы, описываемые выражениями (3.5) и (3.6), на приемники без детекторов, а затем на ортогональные отклоняющие пластины электронно-лучевой трубки (ЭЛТ), как это показано на рис. 3.4.



Рис.3.4. Структурная схема двухканального радиопеленгатора, работающего по методу сравнения сигналов

Применение общего гетеродина в супергетеродинных приемниках позволяет сохранить равенство частот и разность фаз входных сигналов. На экране ЭЛТ получится световая линия, угловое положение которой показывает пеленг радиостанции.

Действительно, отклонение луча индикатора по вертикальной оси равно

$$y(t) = 2U_M K_Y S_Y \sin\left(\pi \frac{1}{\alpha} \cos \alpha\right) \cos \omega_{\text{np}} t, \qquad (3.7)$$

Где  $K_y$  – коэффициент усиления приемно-усилительного тракта канала

вертикального отклонения,

*S<sub>y</sub>* – чувствительность ЭЛТ по вертикальному отклонению. Аналогично, отклонение луча по горизонтальной оси равно

$$x(t) = 2U_M K_Y S_Y \sin\left(\pi \frac{1}{\alpha} \cos \alpha\right) \cos \omega_{\text{np}} t, \qquad (3.8)$$

Поскольку напряжения, описываемые формулами (3.7) и (3.8), синфазны, на экране ЭЛТ возникает прямая линия, угол наклона которой к вертикальной оси определяется формулой

$$\theta = \operatorname{arctg} \frac{x(t)}{y(t)} = \operatorname{arctg} \frac{K_x S_x \sin\left(\left(\pi\frac{1}{\alpha}\right) \sin \alpha\right)}{K_y S_y \sin\left(\left(\pi\frac{1}{\alpha}\right) \cos \alpha\right)}$$
(3.9)

Предположим, что  $K_x S_x = K_y S_y$  и отношение  $\frac{1}{\alpha}$  достаточно мало, чтобы можно было отношение синусов в формуле (3.9) записать отношением их аргументов. Получим

 $\theta = a$ ,

где *а* – угол прихода волны относительно направления север- юг.

образом Таким шкалу индикатора можно проградуировать непосредственно в величинах пеленга. Нарушение амплитудных соотношений в каналах приводит к ошибкам определения пеленга. Нарушение синфазности напряжений, описываемых формулами (3.5) и (3.6) вызывает появление на экране эллипса вместо светящейся линии, что также приводит к угловым ошибкам. Указанные явления требуют поддержания высокой амплитудной и стабильности приемно-усилительных фазовой каналов, что является недостатком схемы рассматриваемого типа.

В пеленгаторе АРП-6Д этот недостаток устраняется тем, что уровни сравниваемых сигналов преобразуются в глубину амплитудной модуляции. Частоты модуляции для каналов север-юг и запад-восток выбраны различными, так что возможно применение одного приемного тракта и последующее разделение сигналов север-юг и запад-восток по частоте.

Рассмотрим процессы, происходящие приемно-усилительном тракте такого пеленгатора, на примере канала запад-восток. Соответствующая структура схемы приведена на рис. 3.5



Рис.3.5. Структурная схема приемного канала пеленгатора, работающего по методу сравнения сигналов

В центре симметрии Н-образной антенны помещается направленная антенна A<sub>o</sub>, как это показано на рис. 3.3. Сигнал на выходе этой антенны

$$U_0(t) = U_0 \cos(\omega_c t + y)$$
 (3.10)

Как видно из рис. 3.1 сигнал  $U_0(t)$ , описываемый формулой (3.10), и разностный сигнал  $\Delta_1(t)$ , описываемый формулой (3.5), сдвинуты по фазе на 90°.

Сигналы Н-образной и ненаправленной антенн подаются на сумматор. Предварительно сигнал  $U_0(t)$ , описываемый выражением (3.10) сдвигается по фазе на 90°, что достигается введением в цепь ненаправленной антенны соответствующего отрезка кабеля. Поскольку положение вектора разностного сигнала  $\Delta_1(t)$  изменяется на 180° в зависимости от того, с какой стороны по отношению к Н-образной антенне находится источник сигнала, векторы  $U_0(t)$  и  $\Delta_1(t)$  оказывается в фазе, либо в противофазе. В цепь разностного сигнала  $\Delta_1(t)$  включен балансный модулятор. В балансном модуляторе происходит перемножение разностного сигнала и гармонического колебания частоты  $\Omega_1$ , так что выходное напряжение имеет вид

$$U_{6M}(t) = K_1 U_M \sin\left(\pi \frac{1}{\alpha} \sin A\right) \cos\left(\omega_c t + y_1 - \frac{\pi}{2}\right) \cos\Omega_1 t, \quad (3.11)$$

где *k*<sub>1</sub>- коэффициент пропорциональности.

Складывая сигналы, описываемые формулами (3.10) и (3.11), с учетом фазового сдвига на  $\frac{\pi}{2}$ , получим напряжение на выходе сумматора

$$U_{\Sigma_1(t)} = U_0 \left[ 1 + \frac{K_1 U_M}{U_0} \sin\left(\pi \frac{1}{\alpha} \sin \alpha\right) \cos \Omega t \right] \cos\left(\omega_c t + y - \frac{\pi}{2}\right)$$
(3.12)

Как видим, получен амплитудно-модулированный сигнал, коэффициент модуляции которого

$$m_1 = \frac{K_1 U_M}{U_0} \sin\left(\pi \frac{1}{\alpha} \sin \alpha\right) \tag{3.14}$$

пропорционален амплитуде выходного сигнала (3.5) Н-образной антенны.

Напряжение (3.12) усиливается и детектируется в приемнике. На выходе приемника имеем

$$U_{\rm d1}(t) = K_{\rm d1} U_M \sin\left(\frac{1}{\alpha}\sin a\right) \cos\Omega_1 t, \quad (3.14)$$

Где  $k_{д1}$ - коэффициент пропорциональности, учитывающий прохождение сигнала через цепи приемника.

Данное напряжение поступает на фазовый детектор, где оно перемножается с опорным сигналом, пропорциональным  $\cos\Omega_1 t$ , и произведение усредняется. На выходе фазового детектора имеем

$$U_{\phi,\pi,1} = \frac{1}{T} \int_0^T U_{\mu,1} \cos \Omega t dt = \frac{1}{2} K_{\mu,1} U_M \sin \left( \pi \frac{1}{\alpha} \sin \alpha \right)$$
(3.15)

Напряжение постоянного тока (3.15) может быть использовано для отклонения луча ЭЛТ по горизонтали на величину, пропорциональную амплитуде x(t) (3.8). Если аналогичным образом получить напряжение вертикального отклонения, пропорционально амплитуде y(t) (3.9), то не трудно построить схему пеленгатора, подобную рис. 3.4.

С некоторыми дополнениями данные принципы используются в пеленгаторе АРП-6Д.

Важным элементом схемы рис. 3.5 является балансный модулятор. Его структурная схема изображена на рис. 3.6. В прямоугольниках указаны передаточные функции цепей. Студентам предлагается самостоятельно показать, что выходное напряжение балансного модулятора действительно определяется формулой (3.11) и начертить эпюры напряжений в различных точках схемы.

Принципиальная электрическая схема антенной головки пеленгатора, включающей в себя балансный модулятор, приведена в приложении 1. В приложении сохранены обозначения, принятые в техническом описании пеленгатора.



Рис. 3.6. Структурная схема балансного модулятора

### 4.СТРУКТУРНАЯ СХЕМА И УСТРОЙСТВО ПЕЛЕНГАТОРА АРП-6Д

Укрупненная структурная схема пеленгатора АРП-6Д представлена на рис. 3.7.

Приемная антенная система пеленгатора состоит из двух Н-образных антенн и ненаправленной штыревой антенны, расположенных в соответствии с рис. 3.3. В комплект пеленгатора входит также передающая дискоконусная антенна A<sub>п</sub>, с помощью которой ведется передача сообщений на борт пеленгуемого объекта.



Рис 3.7. Укрупненная структурная схема радиопеленгатора АРП-6Д

Включение системы в режим приема либо передачи осуществляется с помощью блока антенных реле БАР.

В режиме приема сигналы с балансных модуляторов БМ1 и БМ2 Hобразных антенн запад-восток и север-юг поступают на сумматор, куда подается также сигнал с ненаправленной антенны A0 с фазовым сдвигом  $\frac{p}{2}$ . Каждый из балансных модуляторов собран по диодной схеме. Конструктивно они представляют единое целое и располагаются в антенной головке. Частоты модулирующих сигналов выбраны разными (5 кГц и 6 кГц). По аналогии с формулой (3.12) на выходе сумматора будем иметь

$$u_{\Sigma(t)} = U_0 \left[ 1 + \frac{K_1 U_M}{U_0} \sin\left(\pi \frac{1}{\alpha} \sin \alpha\right) \cos \Omega_1 t + \frac{K_2 U_M}{U_0} \sin\left(\pi \frac{1}{\alpha} \sin \alpha\right) \cos \Omega_2 \right] \cos\left(\omega_c t + y_1 - \frac{\pi}{2}\right)$$
(3.16)

Сигнал  $u_{\Sigma(t)}$  усиливается и детектируется в приемном устройстве радиостанции, настроенной на частоту $\omega_c$ . Включение той или иной радиостанции или их поочередная работа осуществляется с помощью блока коммутации БК.

На выходе детектора имеем

$$u_{\rm d}(t) = K_{\rm d} U_{\rm M} \sin\left(\pi \frac{1}{\alpha} \sin a\right) \cos \Omega_1 t + K_{\rm d} U_{\rm M} \sin\left(\pi \frac{1}{\alpha} \cos a\right) \cos \Omega_2 t \qquad (3.17)$$

Полосовые фильтры (ширина полосы ~500 Гц) выделяют из выходного напряжения детектора слагаемые с частотами  $\Omega 1 = 5$  кГц и  $\Omega 2 = 6$  кГц, поступающие затем на фазовые детекторы ФД.

Заметим, что основная часть спектра речевого сигнала лежит в пределах 300 Гц – 3,4 кГц. Поэтому дополнительная модуляция сигнала на входе радиостанции частотами 5 кГц и 6 кГц не приводит к потере связи во время пеленгования.

На выходах фазовых детекторов получим напряжения постоянного тока, пропорциональные уровням выходных сигналов Н-образных антенн. Одно из них определяется формулой (3.15). Выражение для другого студентам предлагается записать самим. Если эти напряжения подать на ортогональные отклоняющие пластины ЭЛТ, светящаяся точка на экране отклонится так, что ее радиус – вектор будет наклонен к вертикальной оси под углом q в соответствии с формулой (3.9).

Значительно удобнее иметь индикацию не в виде светящейся точки, а в виде линии, соединяющей начало координат с этой точкой. Для достижения этой цели напряжения постоянного тока с выходов фазовых детекторов поступают на электронные коммутаторы ЭК, формирующие пилообразные напряжения, амплитуда и знак которых соответствуют выходным напряжениям фазовых детекторов.

Работой электронных коммутаторов управляет генератор прямоугольных

импульсов MB, собранный по схеме мультивибратора. Его импульсы используются также для подсвета прямого хода луча. Частота коммутации ~ 200 Гц.

Мультивибратор синхронизируется импульсами с частотой 7 кГц, поступающими с блока коммутации. При двухканальной работе пеленгатора синхронное напряжение используется для яркостной модуляции отметки второго канала.

Фиксирующая схема ФС обеспечивает равенство нулю начального уровня пилообразных напряжений обоих каналов. Тем самым фиксируется положение нуля координат на экране ЭЛТ.

Для проверки исправности и регулировки каналов пеленгатора используется имитатор приходящих сигналов – калибратор. В калибраторе вырабатываются гармонические колебания с частотами 5 кГц и 6 кГц, имитирующие частотные составляющие выходного приемника. Имеется возможность снимать с калибратора только напряжение с частотой 6 кГц имитирующее пеленг 0 или 180° в зависимости от его фазы, только напряжение с частотой 5 кГц, имитирующее пеленг 90 или 270°, или одновременно напряжение с частотами 5 кГц и 6 кГц и 6 кГц одинаковых амплитуд и соответствующих фаз, имитирующие пеленг 45°, 135°, 225° и 315°.

В состав пеленгатора входит выносной контрольно-измерительный генератор (КИГ) с антенной. На схеме рис. 3.7 он не показан. КИГ работает на 11 фиксированных частотах диапазона 100–150 МГц с шагом 5 МГц, которые излучаются одновременно. Определяя пеленг на КИГ при известном его положении, можно оценить точность работы пеленгатора.

### 5. ПОРЯДОК ВКЛЮЧЕНИЯ И ВЫКЛЮЧЕНИЯ ПЕЛЕНГАТОРА. ОРГАНЫ УПРАВЛЕНИЯ ЕГО РАБОТОЙ

5.1. Расположение блоков пеленгатора

Схема расположения блоков представлена на рис. 5.1.



Рис.5.	1. Схема расположения блоков пеленгатора
На схеме используются следующие обозначения:	
БАУ	<ul> <li>блок антенного усилителя;</li> </ul>
БП	– блок пеленгатора;
БАР	– блок антенных реле;
ИКД	– испытатель кристаллических диодов;
БВ	– блок выпрямителя;
БК	– блок коммутации;
БПН	<ul> <li>блок преобразования напряжений;</li> </ul>
P802-1,2	– радиостанции первой и второй стойки соответственно;
ПУ-1,2	– пульты управления первой и второй радиостанцией
	соответственно;
р гп	• 1 • (

В БП входят все элементы укрупнённой функциональной схемы (см. рис. 3.7), начиная с калибратора, опорных генераторов, фильтров и до электронно-лучевой трубки индикатора пеленга включительно.

БПН преобразует напряжение постоянного тока 27 В в переменное напряжение 115 В 400 Гц, необходимое для питания самолётных радиостанций Р-802.

Приемная антенна пеленгатора с антенной головкой, включающей в себя вычитатели, балансные модуляторы и сумматор, на рис. 5.1 не приведены.

5.2. Органы управления работой пеленгатора

СЕТЬ – включение и отключение пеленгатора (БАУ);

- ГРОМКОСТЬ регулировка громкости звукового сигнала радиостанции (БАУ, БК);
- ПЕЛЕНГАТОР включение и отключение блока пеленгатора (БП);
- КАЛИБРАТОР переключатель режимов, позволяющий устанавливать пеленгатор в режимы: работа по источникам излучения, работапо сигналам калибратора, регулировка(БП);
- ИНДИКАЦИЯ переключатель постоянной времени фазовых детекторов (БП);
- ПРИБОР переключатели стрелочного прибора контроля напряжений, позволяющего производить контроль питающих напряжений, а также осуществлять настройку пеленгатора (БП);
- ЯРКОСТЬ, ФОКУС, ЦЕНТРОВКА органы управления разверткой индикатора (БП);
- ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬ КАНАЛОВ переключатель режимов работы пеленгатора: работа только по первому каналу, работа только по второму каналу, работа по двум каналам

одновременно (БК);

ВОЗВРАТ – кнопки восстановления схемы, при нажатии которых разблокируются реле защиты БПН от перегрузок по току (БПН);

КАНАЛ – переключатель частоты настройки радиостанции (БУ-1, БУ-2).

Примечание. В скобках указаны блоки, на которых расположены соответствующие органы управления.

5.3. Включение и выключение пеленгатора

Для включения пеленгатора необходимо переключатель СЕТЬ перевести в положение ВКЛ. При загорании какой-либо из двух лампочек ЗАЩИТА на БПН, нажать соответствующую кнопку возврат. После этого тумблер ПЕЛЕНГАТОР перевестив положение ВКЛ. Пеленгатор готов к работе.

Для отключения пеленгатора тумблер ПЕЛЕНГАТОР и переключатель СЕТЬ необходимо перевести в положение ВЫКЛ.

5.4. Краткие указания по работе с имитатором помехи и контрольно – испытательным генератором

В качестве имитатора помехи используется высокочастотный генератор Г4–107, к которому подключена передающая антенна пеленгатора. Органы управления, расположенные на передней панели генератора, позволяют перестраивать частоту излучения, включать различные виды внутренней модуляции, производить регулировку глубины модуляции, регулировать амплитуду выходного сигнала.

Для облегчения процесса настройки генератора на частоту радиопеленгатора рекомендуется включать амплитудную модуляцию сигнала помехи, т. к. при этом генератор настраивается по наличию звукового сигнала на выходе радиостанции. Частоты настройки каналов радиостанции первой стойки записаны в таблице на БАУ. Контрольно-испытательный генератор (КИГ) включается посредством перевода тумблера, расположенного под ним, в положении ВКЛ.

## 6. ЗАДАНИЕ НА ЛАБОРАТОРНУЮ РАБОТУ И ПОРЯДОК ЕЁ ВЫПОЛНЕНИЯ

6.1. Проверить работу пеленгатора от внутреннего калибратора. С этой целью, устанавливая переключатели, имитируемые пеленги 0, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°, 360° снять показания по шкале индикатора. Построить зависимость индицируемого пеленга от имитируемого. Сделать вывод о соответствии или несоответствии проверяемой части пеленгатора техническим требованиям.

- 6.2. Исследовать зависимость отношения амплитудпилообразных напряжений на выходах электронных коммутаторов от имитируемого пеленга. Связать полученные данные с результатом выполнения пункта 6.1. В качестве измерителя амплитуд может быть использован осциллограф С1-68.
- 6.3. Включить контрольно испытательный генератор (КИГ) и проверить работу второй стойки пеленгатора. На частоты излучения КИГ настроены с 1 по 11 каналы второй стойки.
- 6.4. Используя КИГ, снять зависимость оценки пеленга от частоты радиосигнала. Построить график зависимости  $a = f(f_c)$ . Объяснить результаты.
- 6.5. Произвести поиск внешних источников радиосигналов на 20 фиксированных частотах 1 канала. Определить их пеленги по шкале индикатора. Сделать заключение о точности произведенных измерений.
- устойчивый 6.6. Выбрав наиболее источник радиоизлучения, просмотреть эпюры напряжений В контрольных точках схемы. Зарисовать осциллограммы напряжений в точках 2, 3, 8, 10, 11, 12, 13. тНомера контактов разъема КОНТРОЛЬ БП соответствует номерам контрольных точек на структурной схеме пеленгатора (контакты 14, 15 – корпусные).
- 6.7. Экспериментально исследовать влияние помехи на точность пеленгования, используя имитатор помехи, снять зависимость  $a^* = f(P_{nom})$  при пеленговании внешнего источника излучения.
- 6.8. Используя КИГ и имитатор помехи, пронаблюдать двухканальную работу пеленгатора.

### 7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 7.1. Пояснить принцип действия Н-образной антенны.
- 7.2. Можно ли пеленгатор АРП-6Д считатьмоноимпульсным?
- 7.3. Пояснить работу балансного модулятора, схема рис. 3.6, начертить эпюры напряжений в характерных точках схемы.
- 7.4. Каков спектр выходных сигналов балансногомодулятора?
- 7.5. Показать аналитически, что сигналы с частотами, отличными от Ω<sub>1</sub>, не пройдут через фазовый детектор, на вход которого подается опорный сигнал с частотой Ω<sub>1</sub>.
- 7.6. Из каких соображений надо выбирать время усреднения в формуле (3.15)?
- 7.7. Записать формулу для выходного сигнала фазового детектора канала север-юг.
- 7.8. Записать формулы для выходных сигналов калибратора, имитирующего пеленг *a* = 45°.
- 7.9. Зачем нужна подсветка прямого хода луча ЭЛТ?
- 7.10. Является ли измерение, производимое пеленгатором, работающим по

схеме рис. 3.4 однозначным? Если не является, то какие меры вы могли бы предложить для устранения этого недостатка?

7.11. С какой целью выходные каналы усилителей сигналов, поступающих на отклонение пластины ЭЛТ, выполнены по двухтактной схеме?

#### 8. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- 8.1. Бакулев П.А., Сосновский А.А. Радионавигация. Учебник для вузов. М.: Изд-во «Радиотехника». 2005, 232 с.
- 8.2. ОМИ 400 001 ТО. Автоматический ультракоротковолновый радиопеленгатор АРП-6Д (АРП-6УД): Техническое описание.

#### ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА АНТЕННОЙ ГОЛОВКИ

Каждый балансный модулятор (рис. П.1) представляет собой симметричную двухтактную схему, назначение которой заключается в подавлении составляющих несущей частоты и выделении суммы боковых частот модуляции.



Рис. П.1. Принципиальная схема антенны с антенной головкой: *А* – контакт; *Б* – цепь; *B* – адрес; *a* – модуляция 5 кГц; *б* – корпус; *в* – модуляция 6 кГц; *г* – антенна; *А1* – центральный вибратор

На диоды Д10-1, Д10-3 и Д10-2, Д10-4 подаются в противофазе напряжения с Н-антенн и подводятся модулирующие напряжения.

Резисторы R10-1, R10-3, R10-8, R10-9 и конденсаторы C10-5, C10-6, C10-7, C10-8 образуют фильтры по высокой частоте, не допускающие проникновения сигналов в цепи генераторов модулирующих напряжений. Резисторы R10-4, R10-5, R10-6, R10-7 являются нагрузками Н-антенн, а конденсаторы C10-1, C10-2, C10-3, C10-4 – разделительные.

Напряжение сигнала ненаправленной антенны подается через фазирующий резистор R10-2 к общей точке, где складываются все напряжения, образуя на нагрузке результирующее напряжение.

Процесс получения боковых частот в балансном модуляторе и образование амплитудно-модулированного сигнала на входе приемника при сложении с напряжением от центральной антенны для одного из каналов (С-Ю) показан на рис. П.2. Выходной сигнал 1 Н-антенны С-Ю и модулирующее напряжение 2 образуют сигнал 3 на входе балансного модулятора. Сигнал 7 на выходе балансного модулятора зависит от соотношения фаз токов диодов Д10-1, Д10-3 и Д10-2, Д10-4. Выходной сигнал 8 центральной антенны используется для однозначного отсчета пеленга.

Суммарное напряжение 9 сигнала на входе антенного усилителя определяет квадрант пеленга.



Рис. П.2. Процесс образования амплитудно-модулированных колебаний на входе приемника:

*i* – мгновенное значение тока; *u* – мгновенное значение напряжения; 1 – выходной сигнал H-антенны C-Ю; 2 – модулирующее напряжение; 3 – сигнал на входе балансного модулятора; 4 – вольтамперная характеристика диода Д1; 5 – вольтамперная характеристика диода Д3; 6 – суммарный ток диодов Д1 и Д3; 7 – сигнал на выходе балансного модулятора; 8 – выходной сигнал центральной антенны; 9 – суммарное напряжение на входе антенного усилителя

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИОННО-ФАЗОВОЙУГЛОМЕРНОЙ СИСТЕМЫ

#### 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-фазовой угломерной системы.

Целью работы является:

Изучение возможности использования поляризации радиоволн для улучшения тактико-технических характеристик радиотехнических систем;

Изучение принципа работы и особенностей построения поляризационно-фазовых угломерных систем;

Ознакомление с работой поляризационно-фазовой угломерной системы при определении пеленга подвижного объекта.

Поляризационно-фазовая угломерная система предназначена для определения направления на «радиомаяк», состоящий из двух разнесенных на некоторое расстояние между собой когерентных источников излучения, имеющих ортогональную поляризацию.

Особенностью поляризационно-фазовых угломерных систем является то, что для определения угловой координаты производится измерение разности фаз излучений двух когерентных источников, расположенных на некотором расстоянии друг от друга, а разделение сигналов от этих источников в приёмном устройстве осуществляется поляризационными методами. При этом точность определения угловой координаты 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 E(r,t),

наблюдаемого в фиксированной точке пространства *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 *Е* описывает эллипс, форма и ориентация которого не зависят от времени.

Годограф 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 *E* описывает каждый эллипс.

Если рассматривать различные направления *l* в фазовом фронте волны, то среднее за время наблюдения значение квадрата амплитуды вектора *E* для частично поляризованной волны оказывается зависящей от выбора направления *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 *E* совершает регулярное движение – вращение с периодически изменяющейся скоростью, причем полный оборот происходит

за период несущей частоты. Начальное положение вектора *E* внутри эллипса определяет фазу эллиптически поляризованной волны.

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



Рис. 2.1. Геометрические параметры поляризационного эллипса Форму эллипса обычно характеризуют отношением осей (коэффициентом эллиптичности) г, абсолютная величина которого

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

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 *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.

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

#### $0 \le b \le \pi$

Круговая и линейная поляризации являются частными случаями более общего состояния эллиптической поляризации и получаются, когда эллиптичность г принимает особые значения, равные  $r=\pm 1$  или нулю. Значение  $r=\pm 1$  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 b и что все линейные

поляризации не имеют направления обхода.

# 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.

Поляризация излучаемой (или принимаемой) антенной волны определяется конструкцией антенны, которая, в свою очередь, зависит от целого ряда факторов, таких как диапазон волн, назначение системы и т.д.

Простейшим типом антенны является вибраторная антенна, состоящая из двух тонких (по сравнению с длиной волны) стержней. Поскольку электрические заряды в стержнях могут совершать колебания только вдоль стержней, то такая антенна реагирует только на волну, вектор напряженности электрического поля которой параллелен стержням. Меняя ориентацию вибраторной антенны, можно осуществлять прием линейно поляризованных электромагнитных волн с различной ориентацией плоскости поляризации. Под плоскостью поляризации линейно поляризованной волны понимают которой лежит одновременно плоскость, В вектор напряженности электрического поля и нормаль к фазовому фронту волны.

Если расположить две вибраторные антенны ортогонально друг к другу (рис. 2.2), а на некотором расстоянии от них расположить два источника линейно поляризованных волн, таких что плоскости поляризации этих волн ортогональны, то можно так сориентировать антенны, что каждая из них будет реагировать на излучение только одного источника. На рис. 2.2

источники помечены символами  $S_1$ ,  $S_2$ . Используя этот эффект можно, например, в два раза увеличить пропускную способность канала связи на одной несущей частоте.

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



Рис. 2.2. Принцип поляризационного разделения сигналов отдвух источников

Наибольшее распространение получили прямоугольные волноводы, по которым могут распространятся только волны, вектор напряженности электрического поля которых параллелен узкой стенке волновода. Таким образом, рупорная антенна, нагруженная на прямоугольной 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 пропускающему только одну компоненту произвольно поляризатору, 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. 2.3 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. 2.3 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. 2.3. Волноводный поляризационный разделитель

# 2.3. Физические принципы работы поляризационно-фазовых угломерных систем

Из геометрических соотношений, приведенных на рис. 2.4, следует, что, если расположить на плоскости симметрично относительно начала некоторой системы координат два источника излучения (в точках  $S_1$  и  $S_2$ ), то разность расстояний

*l* от этих источников до любой удаленной точки А однозначно (в пределах одной полуплоскости) связана с направлением на эту точку. Причем эта связь задается соотношением

 $\Delta l = d \sin a,$ 

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

а – угловая координата точки А.



Рис. 2.4. Геометрические соотношения при работе поляризационно-фазовой 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<sub>1</sub> и S<sub>2</sub> сигналы, наведенные в приемной антенне излучениями источников будут сдвинуты по фазе на величину

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

где *α* – длина волны излучения источников (предполагается, что длины волн источников совпадают, а излучаемые волны синфазны).

Соотношение (2.2) может быть представлено в виде

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

Откуда следует, что по измеренному значению разности фаз  $\Delta \varphi$  может быть рассчитана угловая координата точки A в заданной системе координат XOY. Поскольку фазометрические системы обеспечивают однозначное измерение разности фаз в некотором конечном интервалеуглов *а* возможно в секторе  $\pm \Delta \varphi_0$ , однозначное измерение

$$\pm a_0 = \arcsin\left(\pm\frac{\Delta\varphi_{0\alpha}}{2\pi d}\right)$$

Для измерения разности фаз между сигналами, наведенными в приемной антенне излучениями двух источников, необходимо каким-то образом разделить эти сигналы. В поляризационно-фазовых 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.

Принцип поляризационного разделения сигналов от двух источников пояснен на рис. 2.2, где в качестве примера показано, как могут быть разделены сигналы от двух источников линейно поляризованного излучения. Плоскости поляризации излучений источников ортогональны. Приемная антенна выполнена в виде двух взаимно перпендикулярных вибраторных антенн и выполняет одновременно функции антенны и поляризационного разделителя. На рисунке обозначено:  $u_1(t)$ ,  $u_2(t)$  – сигналы, снимаемые с антенн;  $U_1$ ,  $U_2$  амплитуды этих сигналов;  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_{\Sigma}$  – напряженности полей,  $l_1$ ,  $l_2$  базиса разделителя. орты поляризационного.

Из рисунка видно, что отклик каждой антенны зависит только от напряженности поля источника, согласованного с ней по поляризации, а разность фаз сигналов  $u_1(t)$  и  $u_2(t)$  определяется геометрической разностью хода лучей от источников.

#### 2.4. Особенности построения поляризационно-фазовых угломерных систем

Конкретная реализация поляризационно-фазовой 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. 2.5. Источники  $S_1$  и  $S_2$  излучают ортогонально линейно поляризованные волны. Поляризационный разделитель приемной системы ориентирован так, что орты его базиса составляют угол 45° с плоскостями поляризации излучаемых волн.



Рис. 2.5. Ориентация поляризованного разделителя относительно источников излучения

Из рис. 2.5 видно, что сигнал на выходе первой вибраторной антенны может быть записан в виде

$$u_1(t) = k_0 E_1 \cos 45^o \cos(\omega t - kr_1) - k_0 E_2 \cos 45^o \cos(\omega t - kr_1), \quad (2.4)$$

где  $k_0$  постоянный коэффициент, учитывающий энергетические соотношения при преобразовании поля вэлектрический сигнал;

 $E_1, E_2$  – напряженности полей источников  $S_1$  и  $S_2$  в точке расположения антенны;  $\omega$  – круговая частота излучения;

 $k = \frac{2p}{r}$  - волновое число;

t – время;

*r*<sub>1</sub>, *r*<sub>2</sub> – расстояния от антенны до источников.

Формула (2.4) с помощью известных тригонометрических соотношений может быть преобразована к виду

$$u_1(t) = \frac{\sqrt{2}K_0 E_1}{2} [\cos\varphi_1 \cos\omega t + \sin\varphi_1 \sin\omega t - \cos\varphi_2 \cos\omega t - \sin\varphi_2 \sin\omega t],$$

где  $\varphi_1 = kr_1, \, \varphi_2 = kr_2,$ или

$$u_1(t) = \frac{\sqrt{2}K_0E_1}{2} [(\cos\varphi_1 - \cos\varphi_2)\cos\omega t + (\sin\varphi_1 - \sin\varphi_2)\sin\omega t]$$

Здесь сделано предположение, что напряженности полей, излучаемых источниками, равны, т.е.  $E_1 = E_2$ .

Продолжив преобразования, получим:

$$u_1(t) = K_0 E_1 \sqrt{1 - \cos \Delta \varphi} \cos(\omega t - y_1) \quad (2.6)$$

где

$$y_1 = \arctan \frac{\sin \varphi_1 - \sin \varphi_2}{\cos \varphi_1 - \cos \varphi_2}$$

Проделав аналогичные преобразования, можно получить выражение для сигнала во второй вибраторной антенне в виде

 $u_2(t) = K_0 E_1 \sqrt{1 + \cos \Delta \varphi} \cos(\omega t - y_2).$ 

В соответствии с формулами (2.6) и (2.7) отношение амплитуд сигналов на выходе двух вибраторных антенн (или, что эквивалентно, на выходе плеч поляризационного разделителя) будет равно

$$\frac{U_1}{U_2} = \sqrt{\frac{1 - \cos \Delta \varphi}{1 + \cos \Delta \varphi}} = \left| tg \frac{\Delta \varphi}{2} \right|$$
(2.8)

Откуда следует, что

$$\Delta \varphi = \pm 2 \operatorname{arctg} \frac{U_1}{U_2} \pm n 2\pi, \qquad (2.9)$$

Где n=0,1,2...

Подставляя (2.9) в (2.3), получим выражение для расчета угловой координаты точки A (относительно оси OY) по измеренному отношению амплитуд сигналов с плеч поляризационного разделителя в виде

$$a = \arcsin\left[\frac{\alpha}{\pi d} \left(\pm \arctan\left(\frac{U_1}{U_2} \pm n\pi\right)\right].$$
 (2.10)

На рис. 2.6. представлена зависимость отношения амплитуд  $\frac{U_1}{U_2}$  от направления на точку А для  $\frac{\alpha}{\pi D} = \frac{3}{2}$ . Из рисунка видно, что эта зависимость неоднозначна. Ширина зоны однозначного отсчета  $\Delta a$  в районе направлений, близких к нулевому, может быть определена из соотношения (2.10) подстановкой n=0  $\frac{U_1}{U_2} = \infty$ , т.е.

$$\Delta \alpha = \operatorname{arctg} \frac{\alpha}{2d}$$
 (2.11)  
Для  $\frac{d}{\alpha} = \frac{3}{2}$   $\Delta \alpha = 19,5$ 



Рис. 2.6.Зависимость отношения амплитуд  $\frac{U_1}{U_2}$  от направления на точку А для  $\frac{d}{\alpha} = \frac{3}{2}$ 

Зависимость измеряемого отношения  $\frac{U_1}{U_2}$ от угловой координаты это соотношение измеряется, может быть названа точки, в которой пеленгационной характеристикой поляризационно-фазовой угломерной системы. Из рис. 2.6. видно, что наименьшую крутизну пеленгационная характеристика имеет в точке a=0. Пользуясь соотношениями (2.8, 2.2), пеленгационной характеристики в точке можно показать, что крутизна *а*=0 определяется соотношением:

$$\frac{d\left(\frac{U_1}{U_2}\right)}{d\alpha} = \frac{d}{d\alpha} tg\left(\frac{\pi d}{\alpha}\sin\alpha\right) \Big|_{a=0} = \frac{\pi d}{\alpha}.$$
 (2.12)

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 (2.11) и (2.12), приходим к выводу, что для поляризационно-фазовых 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-фазовых системах.

#### 3. ЛАБОРАТОРНЫЙ МАКЕТ ПОЛЯРИЗАЦИОННО-ФАЗОВОЙ СИСТЕМЫ

Структурная электрическая схема лабораторного макета изображена на рис. 3.1. Макет состоит из излучающей системы

<sup>&</sup>lt;sup>1)</sup> Строго говоря, производная функции (2.8) в точке a=0 не существует, так как она различается знаком при стремлении a к точке нуль справа и слева. Соотношение (2.12) справедливо, поскольку внутри зоны однозначности знак a не изменяется.

Изпучающая Генератор система Вращ. сочленение Волноводный разветвитель Волноводная скрутка Рупорные излучатели 900 Рупорная приемная антенна Приёмная система Осциппограф Поворотное устройство Детекторная секция Приёмник

#### Рис. 3.1. Структурная схема лабораторного макета

и приемной системы, расположенных на расстоянии 7 м друг от друга Источником излучения служит генератор, работающий в 3 см диапазоне волн. Излучение этого генератора по прямоугольному волноводу поступает на вращающееся сочленение, которое позволяет вращать в азимутальной плоскости рупорные излучатели. Тем самым изменяется угловое положение приемной антенны относительно оси симметрии излучателей.

После вращающегося сочленения излучение поступает на волноводный разветвитель, где делится на равные части и далее по волноводам поступает на рупорные излучатели. Рупорные излучатели прямоугольные, излучают линейно-поляризованные волны, плоскости поляризации которых параллельны узкой стороне раскрыва соответствующего рупора. Для того, чтобы излучаемые волны были ортогонально поляризованы, в один из волноводных трактов, питающих рупоры, введена волноводная скрутка на 90°. Для исследования системы при различных отношениях рупоры закреплены в механическом устройстве, позволяющем изменять расстояние между ними.

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 раскрыва 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°.

#### 4. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

- 4.1. Изучить описание лабораторной работы и ответить на контрольные вопросы.
- 4.2. Ознакомиться с макетомполяризационно-фазовой угломерной системы.
- 4.3. Включить генератор излучения, осциллограф и источник питания приемника.
- 4.4. По шкале вращающегося сочленения излучающей системы выставить угловое положение 0° ( $\Delta \varphi = 0$ ) и снять зависимость уровня выходного сигнала от ориентации плоскости поляризации принимаемого сигнала в пределах  $\pm 90^{\circ}$  от вертикали через 10°, объяснить результаты.
- 4.5. Снять экспериментально зависимость амплитуды выходного сигнала приемной системы от углового положения излучающих рупорных антенн в пределах ±45°, при ориентации приемного рупора, соответствующей вертикальной поляризации.
- 4.6. Рассчитать теоретически ширину зоны однозначного отсчета и крутизну

пеленгационной характеристики для двух значений базы  $d_1 = 8,5$  см и  $d_2 = 12,0$  см.

- Снять экспериментально зависимость отношения амплитуд сигналов  $\frac{U_1}{U_2}$ 4.7. от углового положения излучающих рупорных антенн в пределах ±30°. Амплитуды сигналов снимаются при ориентацииприемного рупора  $\pm 45^{\circ}$  относительно вертикали соответственно для двух значений базы  $d_1$  $\frac{U_1}{U_2} =$ =8,5 см и  $d_2$  =12,0 см. По экспериментальной зависимости f(a) определить ширину зоны однозначного отсчета и крутизну пеленгационной характеристики. Сравнить с результатами теоретического расчета и результатами п. 4.5, сделать выводы.
- 4.8. экспериментально, зависят ли результаты Исследовать измерения угловой координаты а от ориентации геометрической оси приемной Для азимутальной плоскости. этого зафиксировать антенны в вращающееся сочленение излучающей системы в положении 0°, после приемной антенны изменяя ориентацию В азимутальной чего, плоскости, снять зависимость отношения  $\frac{U_1}{U_2}$  (см. п. 4.6 задания) от ориентации приемной антенны. Объяснить полученные результаты.

#### 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 5.1. На основе какого физического явления в поляризационно-фазовых и угломерных системах осуществляется разделение сигналов от двух источников излучения?
- 5.2. Объясните принцип работы поляризационно-фазовой угломерной системы.
- 5.3. Какими параметрами системы определяется ширина зоны однозначного отсчета угла?
- 5.4. Какими параметрами системы определяется крутизна пеленгационной характеристики?
- 5.5. Каким образом в поляризационно-фазовой угломерной системе фазовые измерения можно заменить амплитудными?
- 5.6. Какие параметры поляризационно-фазовой системы влияют на точность измерения угла?

#### 6. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- 6.1. Канарейкин Д.Б., Павлов Н.Ф., Потехин В.А. Поляризация радиолокационных сигналов. М.: Советское радио, 1966. –440 с.
- 6.2. Канарейкин Д.Б., Потехин В. А., Шишкин И. Ф. Морская поляриметрия. –

Л.: Судостроение, 1968. – 328 с.

#### ОСНОВЫ ТЕОРИИ СИСТЕМ И КОМПЛЕКСОВ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ БОРЬБЫ

#### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ №1,2 для студентов специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы» очной формы обучения

Составитель: д. ф.-м.н. Кузьменко Р.В.

Компьютерный набор Р.В. Кузьменко

Подписано к изданию\_\_\_\_\_ Уч-изд. л.\_\_\_\_

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» 394026 Воронеж, Московский просп., 14