

**Федеральное агентство по образованию Российской
Федерации**

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

Кафедра радиотехнических систем (РТС)

В.П.Денисов, Б.П.Дудко

**Радиотехнические системы
Лабораторный практикум**

Издание стереотипное

2012

Лабораторный практикум содержит методические указания студентам для выполнения лабораторных работ по дисциплинам «Радиотехнические системы» и «Радиолокационные системы».

ОГЛАВЛЕНИЕ

ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО УЛЬТРАКОРОТКОВОЛНОВОГО ПЕЛЕНГАТОРА АРП-6Д	7
1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ	8
2. НАЗНАЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ТАКТИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАДИОПЕЛЕНГАТОРА АРП-6Д	8
3. ПРИНЦИПЫ ДЕЙСТВИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ РАДИОПЕЛЕНГАТОРОВ С Н-ОБРАЗНЫМИ АНТЕННАМИ	9
4. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА И УСТРОЙСТВО ПЕЛЕНГАТОРА АРП-6Д	16
5. ПОРЯДОК ВКЛЮЧЕНИЯ И ВЫКЛЮЧЕНИЯ ПЕЛЕНГАТОРА. ОРГАНЫ УПРАВЛЕНИЯ ЕГО РАБОТОЙ	20
5.1. Расположение блоков пеленгатора	20
5.2. Органы управления работой пеленгатора	21
5.3. Включение и выключение пеленгатора	22
5.4. Краткие указания по работе с имитатором помехи и контрольно – испытательным генератором	22
6. ЗАДАНИЕ НА ЛАБОРАТОРНУЮ РАБОТУ И ПОРЯДОК ЕЁ ВЫПОЛНЕНИЯ	23
7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	24
8. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА	25
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	26
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИОННО-ФАЗОВОЙ УГЛОМЕРНОЙ СИСТЕМЫ	29
1. ВВЕДЕНИЕ	30
2. ПОЛЯРИЗАЦИЯ РАДИОВОЛН И ЕЁ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ	31
2.1. Поляризация электромагнитных волн	31
2.2. Элементы радиотехнических систем, использующих поляризованные эффекты	33
2.3. Физические принципы работы поляризационно-фазовых угломерных систем	37

2.4. Особенности построения поляризационно-фазовых угломерных систем	39
3. ЛАБОРАТОРНЫЙ МАКЕТ ПОЛЯРИЗАЦИОННО- ФАЗОВОЙ СИСТЕМЫ.....	43
4. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ	46
5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	47
6. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА.....	47

ОБНАРУЖЕНИЕ ЦЕЛЕЙ И ИЗМЕРЕНИЕ КООРДИНАТ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИЕЙ В РЕЖИМЕ ОБЗОРА	49
1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ.....	50
2. КРАТКОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ.....	50
3. ПОИСК, ОБНАРУЖЕНИЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ ЦЕЛИ.....	60
4. КРАТКОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ИМИТАТОРА ЦЕЛЕЙ И ПОМЕХ.....	61
5. ВЛИЯНИЕ ИНДИКАТОРНЫХ УСТРОЙСТВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ РЛС.....	66
6. ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБНАРУЖЕНИЯ РЛС.....	71
7. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ	77
8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	79
9. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА.....	80

ИССЛЕДОВАНИЕ САМОЛЕТНОГО РАДИОВЫСОТОМЕРА РВ-20	81
1. ВВЕДЕНИЕ	82
2. СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ	82
3. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ, НАЗНАЧЕНИЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА РАДИОВЫСОТОМЕТРА..	89
3.1. Принцип измерения высоты	89
3.2. Назначение радиовысотомера РВ-20.....	90
3.3. Характеристики радиовысотомера РВ-20.....	91
3.4. Устройство радиовысотомера.....	92
4. ОПИСАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ	98
4.1. Схема экспериментальной установки.....	98
4.2. Обозначения на панели прибора СПИ-02.....	99

4.3. Обозначение контрольных гнезд	100
5. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ	100
6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	103
7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА	104
8. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	104
СИСТЕМЫ ПОСАДКИ САМОЛЕТОВ	105
ВВЕДЕНИЕ	106
1. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ПОСАДКИ МЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА	106
2. ВАРИАНТЫ РАДИОМАЯЧНЫХ СИСТЕМ ПОСАДКИ ...	108
Системы СП-48 и СП-50	108
Система ILS	112
Бортовая аппаратура «Курс-МП-2»	113
Система ближней навигации и посадки РСБН-2	113
3. ИМИТАТОРЫ РАДИОМАЯКОВ	117
Имитатор маркерного маяка системы СП-50	117
Имитатор глиссадного маяка системы СП-50	117
Имитатор курсового маяка системы СП-50	118
Имитатор сигналов системы ILS	120
4. ВЛИЯНИЕ РАДИОПОМЕХ НА РАБОТУ БОРТОВЫХ РАДИОПРИЕМНИКОВ	121
5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	122
6. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ	122
7. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ	126
Начальные установки прибора МИМ-70	126
Начальные установки стенда	126
Измерения в режиме «СП-50»	126
Измерения в режиме «ILS»	129
8. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ	130
9. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА	131

САМОЛЕТНЫЕ АВТОМАТИЧЕСКИЕ РАДИОКОМПАСЫ	133
ВВЕДЕНИЕ	134
1. МЕСТООПРЕДЕЛЕНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАДИОКОМПАСОВ	134
2. РЕЖИМЫ РАБОТЫ РАДИОКОМПАСОВ	136
РЕЖИМ РАБОТЫ «АНТЕННА»	137
РЕЖИМ РАБОТЫ «РАМКА»	137
РЕЖИМ РАБОТЫ «КОМПАС»	139
ПОГРЕШНОСТИ РАДИОКОМПАСОВ	144
3. ОСОБЕННОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ РАДИОКОМПАСОВ	145
РАДИОКОМПАС АРК-5	145
РАДИОКОМПАС АРК-9	147
РАДИОКОМПАС АРК-10	149
РАДИОКОМПАС АРК-11	152
РАДИОКОМПАС АРК-15	155
АВТОМАТИЧЕСКИЙ УКВ-РАДИОКОМПАС АРК-У2	160
4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	162
5. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ	163
6. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ .	164
7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА	166
8. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА	167

**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 из 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 Р-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 использование Н-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.

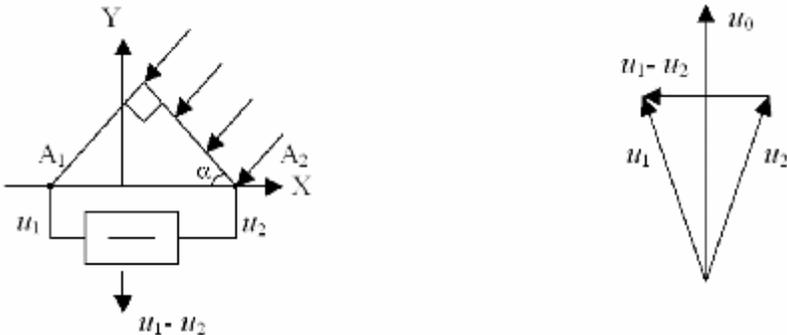


Рис.3.1. Структурная схема Н-образной антенны и векторная диаграмма сигналов в Н-образной антенне

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

$$\begin{aligned} u_1(t) &= U_{M1} \cos\left(w_c t + y_1 - \frac{j}{2}\right), \\ u_2(t) &= U_{M2} \cos\left(w_c t + y_1 + \frac{j}{2}\right), \end{aligned} \quad (3.1)$$

где U_{M1} , U_{M2} – амплитуды, не зависящие от угла прихода волны,

w_c – несущая частота,

$$j = 2p \frac{l}{l} \sin a \quad (3.2)$$

– разность фаз сигналов $u_1(t)$ и $u_2(t)$,

l – расстояние между вибраторами,

a – направление на источник сигнала, отсчитанное от нормали к линии, соединяющей вибраторы,

y – начальная фаза сигнала в геометрическом центре антенны.

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

$$U_{\Delta 1} = \sqrt{U_{M1}^2 + U_{M2}^2 - 2U_{M1}U_{M2} \cos\left(2p \frac{l}{l} \sin a\right)}. \quad (3.3)$$

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

$$U_{\Delta 1} = 2U_M \left| \sin\left(p \frac{l}{l} \sin a\right) \right|. \quad (3.4)$$

Полностью разностный сигнал записывается в виде

$$\Delta_1(t) = 2U_M \sin\left(p \frac{l}{l} \sin a\right) \cos\left(w_c t + y_1 - \frac{p}{2}\right). \quad (3.5)$$

Формулу (3.4) можно рассматривать как диаграмму направленности Н-образной антенны. Если $l < l$, 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.

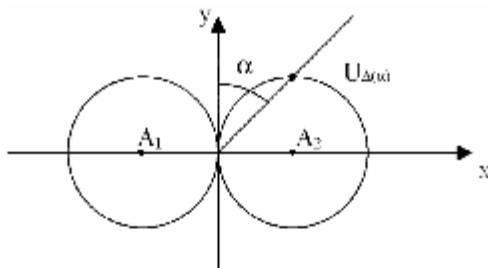


Рис.3.2. Диаграмма направленности Н-образной антенны

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.

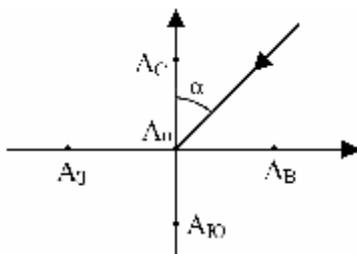


Рис.3.3. Антенная система пеленгатора АРП–6Д.
 A_3 - A_B , A_C - $A_{Ю}$ - Н-образные антенны, A_0 – ненаправленная антенна

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 - $A_{Ю}$ (север-юг) будет

$$\Delta_2(t) = 2U_M \sin\left(p \frac{l}{I} \cos a\right) \cos\left(\omega_c t + y_1 - \frac{p}{2}\right) \quad (3.6)$$

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.

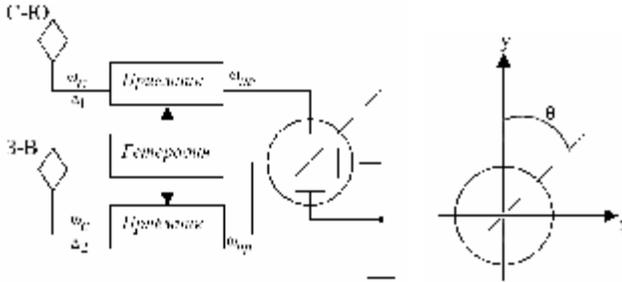


Рис.3.4. Структурная схема двухканального радиопеленгатора, работающего по методу сравнения сигналов

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

$$y(t) = 2U_M K_y S_y \sin\left(p \frac{l}{I} \cos a\right) \cos \omega_{np} t, \quad (3.7)$$

где K_y – коэффициент усиления приемно-усилительного тракта канала вертикального отклонения,

S_y – чувствительность ЭЛТ по вертикальному отклонению.

Аналогично, отклонение луча по горизонтальной оси равно

$$x(t) = 2U_M K_x S_x \sin\left(p \frac{l}{I} \sin a\right) \cos \omega_{np} t \quad (3.8)$$

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

$$q = \arctg \frac{x(t)}{y(t)} = \arctg \frac{K_x S_x \sin \left(\left(p \frac{l}{l} \right) \sin a \right)}{K_y S_y \sin \left(\left(p \frac{l}{l} \right) \cos a \right)} \quad (3.9)$$

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

$$q = a ,$$

где a – угол прихода волны относительно направления север-юг.

Таким образом 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 фазовой стабильности приемно-усилительных 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

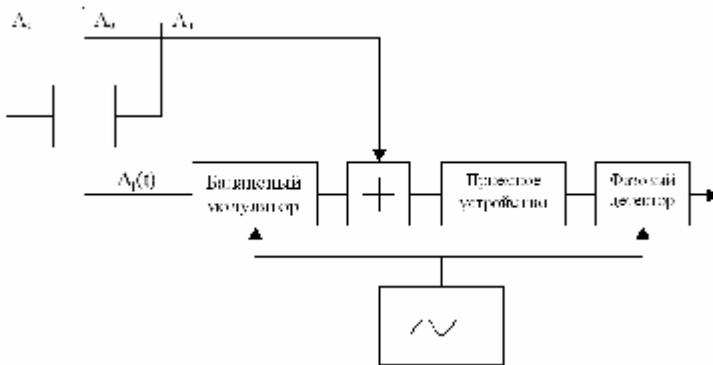


Рис.3.5. Структурная схема приемного канала пеленгатора, работающего по методу сравнения сигналов

В центре симметрии Н-образной антенны помещается направленная антенна A_0 , как это показано на рис. 3.3. Сигнал на выходе этой антенны

$$u_0(t) = u_0 \cos(\omega_c t + y) \quad (3.10)$$

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 Ω_1 , так что выходное напряжение имеет вид

$$u_{\text{ом}}(t) = k_1 U_M \sin\left(p \frac{l}{l} \sin a\right) \cos\left(w_c t + y_1 - \frac{p}{2}\right) \cos \Omega_1 t, \quad (3.11)$$

где k_1 – коэффициент пропорциональности.

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

$$u_{\Sigma_1}(t) = U_0 \left[1 + \frac{k_1 U_M}{U_0} \sin\left(p \frac{l}{l} \sin a\right) \cos \Omega_1 t \right] \cos\left(w_c t + y_1 - \frac{p}{2}\right). \quad (3.12)$$

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

$$m_1 = \frac{k_1 U_M}{U_0} \sin\left(p \frac{l}{l} \sin a\right) \quad (3.13)$$

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

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

$$u_{\text{д1}}(t) = k_{\text{д1}} U_M \sin\left(p \frac{l}{l} \sin a\right) \cos \Omega_1 t, \quad (3.14)$$

где $k_{\text{д1}}$ – 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

$$U_{\text{ф.д1}} = \frac{1}{T} \int_0^T u_{\text{д1}}(t) \cos \Omega_1 t dt = \frac{1}{2} k_{\text{д1}} U_M \sin\left(p \frac{l}{l} \sin a\right) \quad (3.15)$$

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.

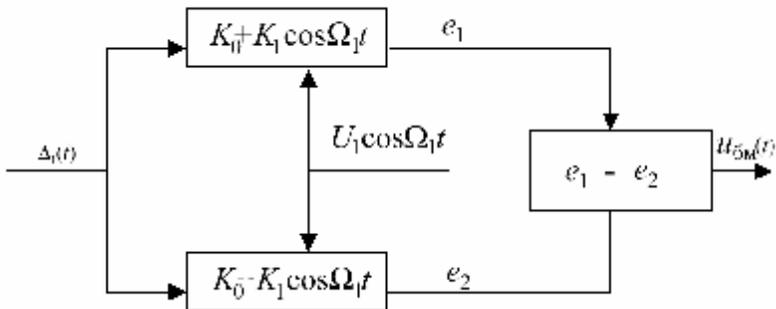


Рис. 3.6. Структурная схема балансного модулятора

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_n , с помощью которой ведется передача сообщений на борт пеленгуемого объекта.

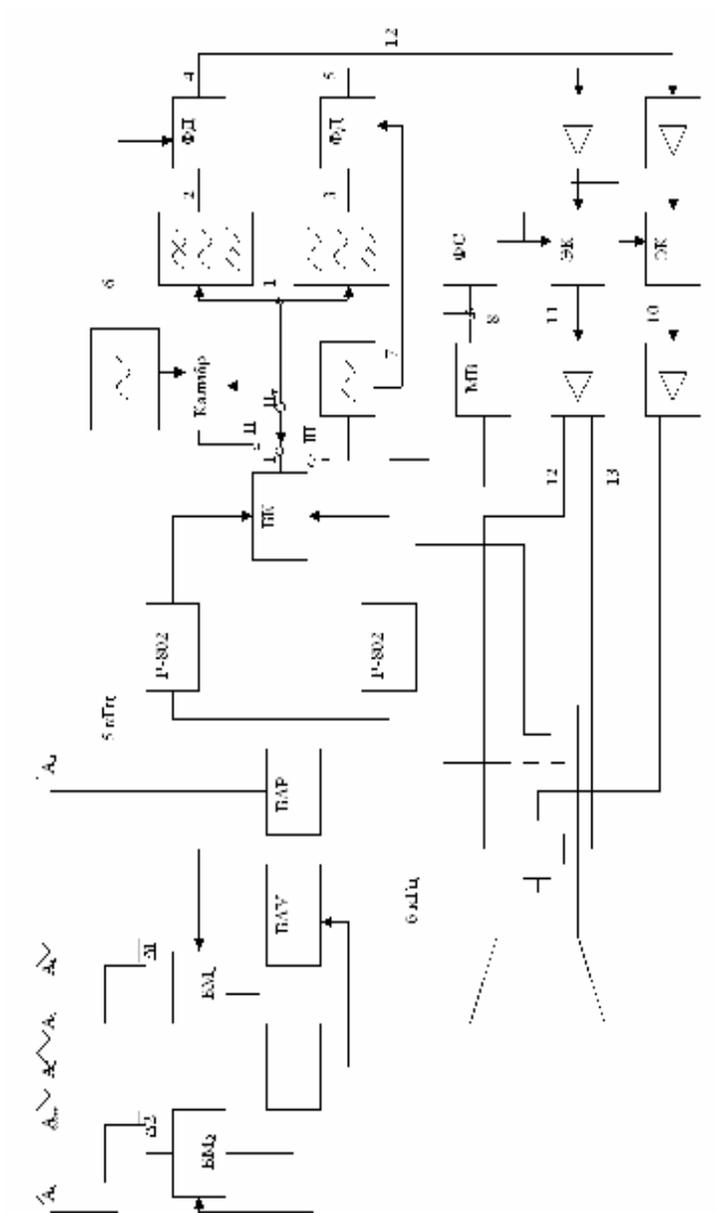


Рис 3.7. Укрупненная структурная схема радиопеленгатора АРП-6Д

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

В режиме приема сигналы с балансных модуляторов БМ₁ и БМ₂ Н-образных антенн запад-восток и север-юг поступают на сумматор, куда подается также сигнал с ненаправленной антенны А₀ 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

$$u_{\Sigma}(t) = U_0 \left[1 + \frac{k_1 U_M}{U_0} \sin \left(p \frac{l}{l} \cos a \right) \cos \Omega_1 t + \right. \\ \left. + \frac{k_2 U_M}{U_0} \sin \left(p \frac{l}{l} \sin a \right) \cos \Omega_2 t \right] \cos \left(\omega_c t + \gamma_1 - \frac{p}{2} \right) \quad (3.16)$$

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

На выходе детектора имеем

$$u_d(t) = k_d U_M \sin \left(p \frac{l}{l} \sin a \right) \cos \Omega_1 t + \\ + k_d U_M \sin \left(p \frac{l}{l} \cos a \right) \cos \Omega_2 t \quad (3.17)$$

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 МВ, 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 входящих 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 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.

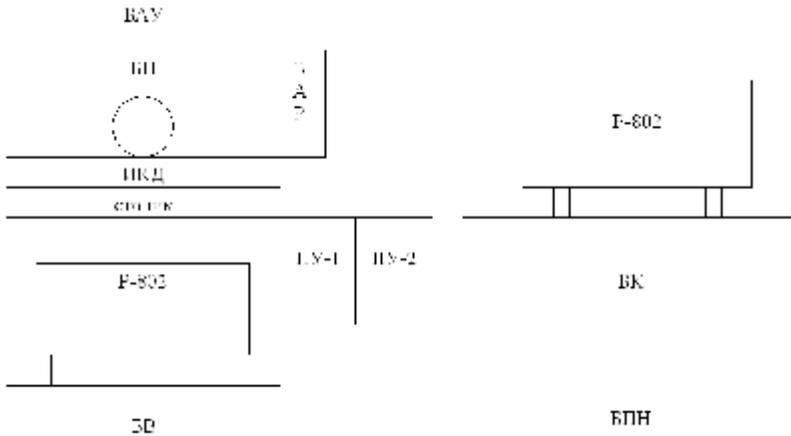


Рис.5.1. Схема расположения блоков пеленгатора

На схеме используются следующие обозначения:

- | | | |
|-----|---|---------------------------|
| БАН | – | блок антенного усилителя; |
| БП | – | блок пеленгатора; |

БАР	– блок антенных реле;
ИКД	– испытатель кристаллических диодов;
БВ	– блок выпрямителя;
БК	– блок коммутации;
БПН	– блок преобразования напряжений;
Р802-1,2	– радиостанции первой и второй стойки соответственно;
ПУ-1,2	– пульты управления первой и второй радиостанцией соответственно;

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, работа по 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 перевести в 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 амплитуд пилообразных 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.

6.6. Выбрав наиболее устойчивый источник радиоизлучения, просмотреть эпюры напряжений в контрольных точках схемы. Зарисовать осциллограммы напряжений в точках 2, 3, 8, 10, 11, 12, 13.

Номера 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 $a^* = f(P_{\text{пом}})$ 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-БД считать моноимпульсным?

7.3. Пояснить работу балансного модулятора, схема рис. 3.6, начертить эпюры напряжений в характерных точках схемы.

7.4. Каков спектр выходных сигналов балансного модулятора?

7.5. Показать аналитически, что сигналы с частотами, отличными от Ω , не пройдут через фазовый детектор, на вход которого подается опорный сигнал с частотой Ω .

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 $a = 45^\circ$.

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.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ПРИНЦИПАЛЬНАЯ 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.

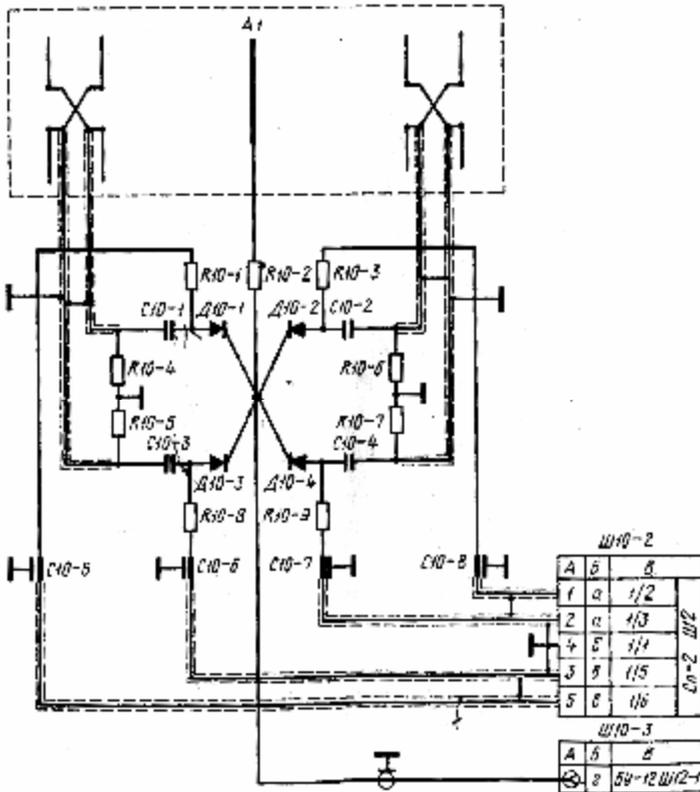


Рис. П.1. Принципиальная схема антенны с антенной головкой:

А – контакт; *Б* – цепь; *В* – адрес; *а* – 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.

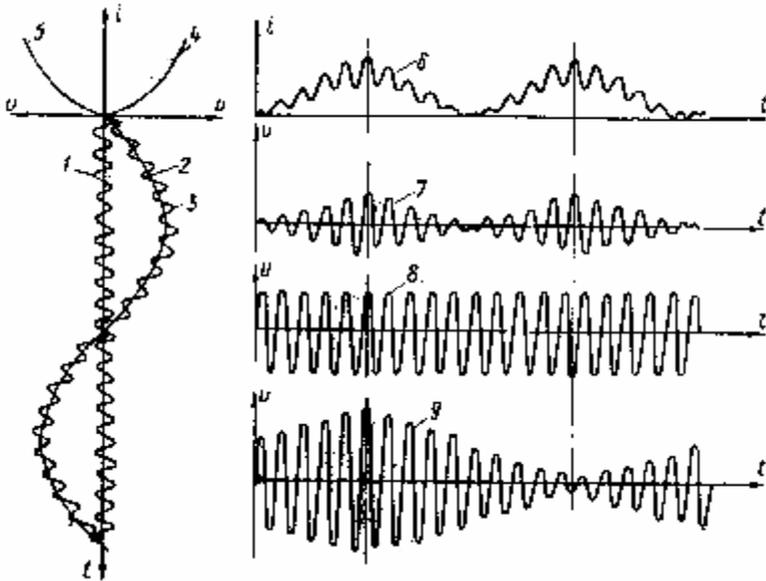


Рис. П.2. Процесс образования амплитудно-модулированных колебаний на входе приемника:

i – мгновенное значение тока; u – мгновенное значение напряжения; 1 – выходной сигнал Н-антенны С-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-ФАЗОВОЙ
УГЛОМЕРНОЙ 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 $\vec{E}(r, t)$, 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 \vec{E} 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 \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).

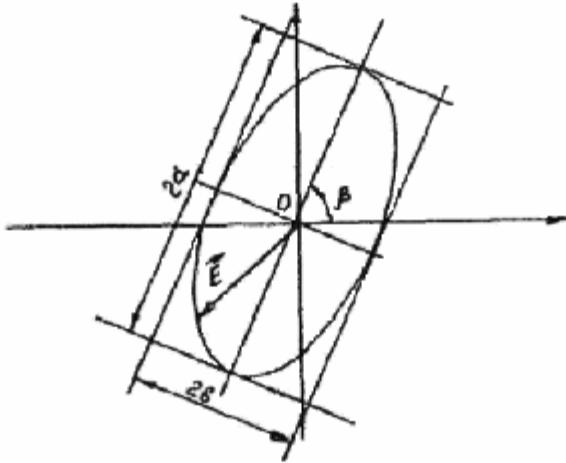


Рис. 2.1. Геометрические параметры поляризационного эллипса

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 присписывается тот или иной знак в зависимости от направления вращения вектора поля. Если при наблюдении вдоль направления распространения волны вектор \mathbf{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

$$0 \leq b < \rho$$

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 $r = \pm 1$ 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 плоскость, в которой лежит одновременно 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.

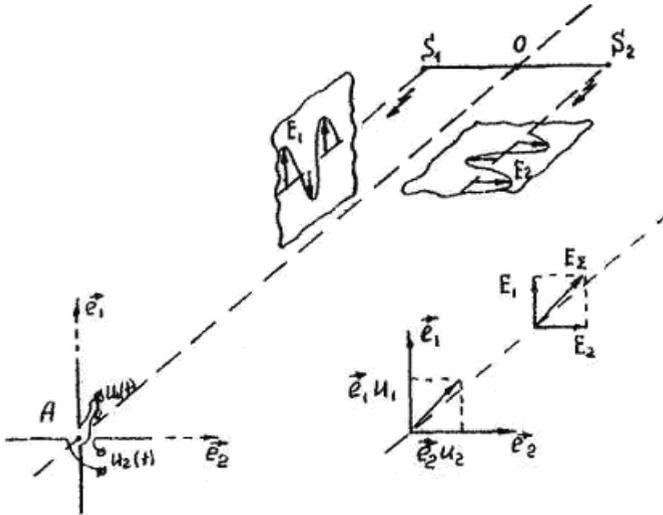


Рис. 2.2. Принцип поляризационного разделения сигналов от двух источников

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. 2.3 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.

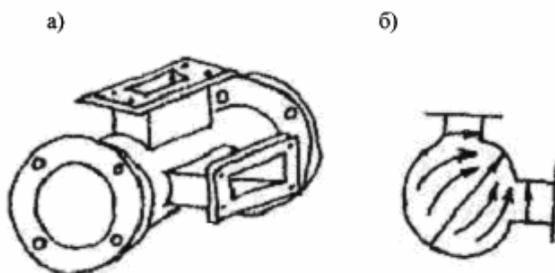


Рис. 2.3. Волноводный поляризационный разделитель

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 Δl 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;
 a – угловая координата точки А.

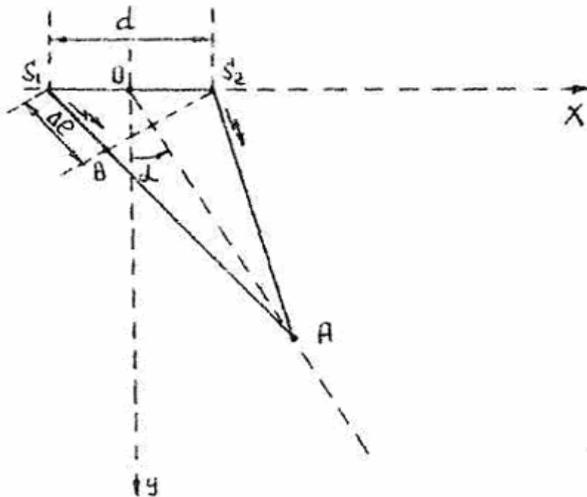


Рис. 2.4. Геометрические соотношения при работе поляризационно-фазовой угломерной системы

Если расположить в точке А приемное устройство и принимать излучение обоих источников, то, очевидно, за счет геометрической разности хода Δl лучей от источников S_1 и S_2

сигналы, наведенные в приемной антенне излучениями источников будут сдвинуты по фазе на величину

$$\Delta j = \frac{2pd}{l} \sin a, \quad (2.2)$$

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

Соотношение (2.2) может быть представлено в виде

$$a = \arcsin \frac{\Delta j l}{2pd}. \quad (2.3)$$

Откуда следует, что по измеренному значению разности фаз Δj может быть рассчитана угловая координата точки А в заданной системе координат ХОУ. Поскольку фазометрические системы обеспечивают однозначное измерение разности фаз в некотором конечном интервале $\pm \Delta j_0$, однозначное измерение углов a возможно в секторе

$$\pm a_0 = \arcsin \left(\pm \frac{\Delta j_0 l}{2pd} \right)$$

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_Σ – напряженности полей, \hat{l}_1 , \hat{l}_2 – орты поляризационного базиса разделителя.

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.

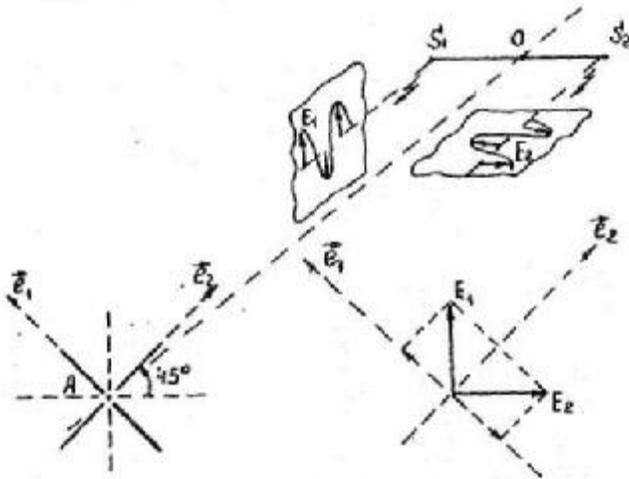


Рис. 2.5. Ориентация поляризованного разделителя относительно источников излучения

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

$$u_1(t) = k_0 E_1 \cos 45^\circ \cos(\omega t - kr_1) - k_0 E_2 \cos 45^\circ \cos(\omega t - kr_2), \quad (2.4)$$

где k_0 – постоянный коэффициент, учитывающий энергетические соотношения при преобразовании поля в электрический сигнал;

E_1, E_2 – напряженности полей источников S_1 и S_2 в точке расположения антенны;

ω – круговая частота излучения;

$k = \frac{2\pi}{\lambda}$ – волновое число;

t – время;

r_1, r_2 – расстояния от антенны до источников.

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

$$u_1(t) = \frac{\sqrt{2}k_0 E_1}{2} [\cos j_1 \cos wt + \sin j_1 \sin wt - \cos j_2 \cos wt - \sin j_2 \sin wt],$$

где $j_1 = kr_1$, $j_2 = kr_2$,

или

$$u_1(t) = \frac{\sqrt{2}k_0 E_1}{2} [(\cos j_1 - \cos j_2) \cos wt + (\sin j_1 - \sin j_2) \sin wt]. \quad (2.5)$$

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

Продолжив преобразования, получим:

$$u_1(t) = k_0 E_1 \sqrt{1 - \cos \Delta j} \cos(wt - y_1), \quad (2.6)$$

где $y_1 = \operatorname{arctg} \frac{\sin j_1 - \sin j_2}{\cos j_1 - \cos j_2}$

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

$$u_2(t) = k_0 E_1 \sqrt{1 + \cos \Delta j} \cos(wt - y_2). \quad (2.7)$$

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

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

откуда следует, что

$$\Delta j = \pm 2 \operatorname{arctg} \frac{U_1}{U_2} \pm n2p, \quad (2.9)$$

где $n = 0, 1, 2, \dots$

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

$$a = \arcsin \left[\frac{1}{pd} \left(\pm \arctg \frac{U_1}{U_2} \pm np \right) \right]. \quad (2.10)$$

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

$$\Delta a = \arcsin \frac{1}{2d}. \quad (2.11)$$

Для $\frac{d}{l} = \frac{3}{2}$ $\Delta a = 19.5^\circ$.

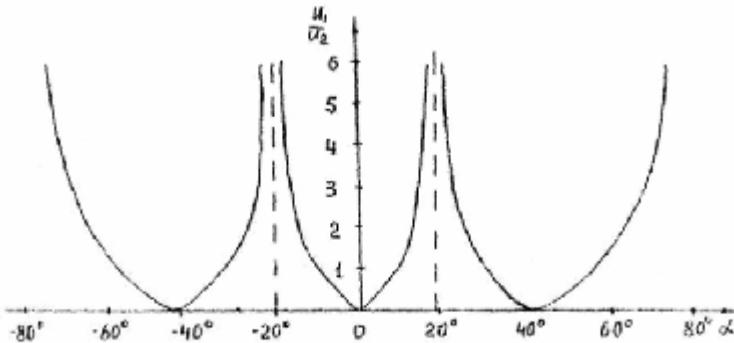


Рис. 2.6. Зависимость отношения амплитуд $\frac{U_1}{U_2}$ от направления

на точку А для $\frac{d}{l} = \frac{3}{2}$

Зависимость измеряемого отношения $\frac{U_1}{U_2}$ от угловой координаты точки, в которой это соотношение измеряется, может быть названа 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), можно показать, что крутизна пеленгационной характеристики в точке $a = 0$ определяется соотношением:¹⁾

$$\frac{d\left(\frac{U_1}{U_2}\right)}{da} = \frac{d}{da} \operatorname{tg} \left(\frac{pd}{l} \sin a \right) \Big|_{a=0} = \frac{pd}{l}. \quad (2.12)$$

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

¹⁾ 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.

и приемной системы, расположенных на расстоянии 7 м друг от друга.

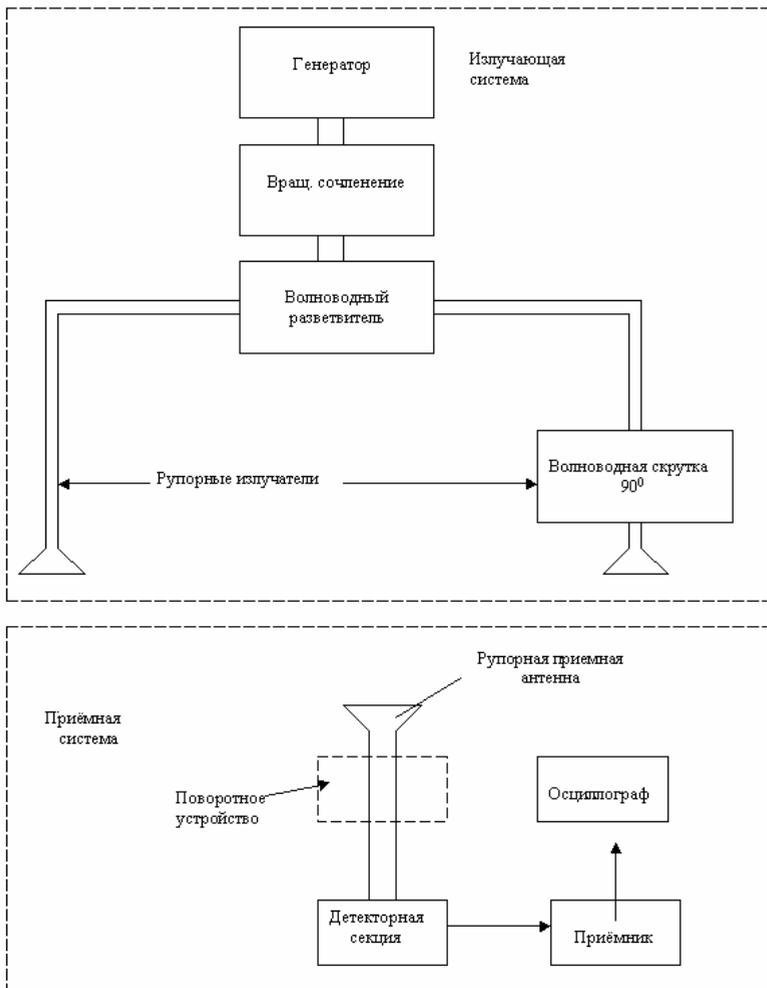


Рис. 3.1. Структурная схема лабораторного макета

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 раскрытия 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 $\frac{d}{l}$, 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 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° .

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. По шкале вращающегося сочленения излучающей системы выставить угловое положение 0° ($\Delta j = 0$) 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 $\pm 45^\circ$, 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.

4.7. Снять экспериментально зависимость отношения амплитуд сигналов $\frac{U_1}{U_2}$ от углового положения излучающих рупорных антенн в пределах $\pm 30^\circ$. Амплитуды сигналов снимаются при ориентации приемного рупора $\pm 45^\circ$ относительно вертикали соответственно для двух значений базы $d_1 = 8,5$ см и $d_2 = 12,0$ см.

4.8. По экспериментальной зависимости $\frac{U_1}{U_2} = f(a)$ определить ширину зоны однозначного отсчета и крутизну пеленгационной характеристики. Сравнить с результатами теоретического расчета и результатами п. 4.5, сделать выводы.

4.9. Исследовать экспериментально, зависят ли результаты измерения угловой координаты a от ориентации

геометрической оси приемной антенны в азимутальной плоскости. Для этого зафиксировать вращающееся сочленение излучающей системы в положении 0° , после чего, изменяя ориентацию приемной антенны в азимутальной 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.

- 6.3. Авторское свидетельство СССР по заявке №3848713/09.
Способ измерения пеленга подвижного объекта и устройство для его осуществления / Томский институт АСУ и радиоэлектроники, авт. Изобретения Бадулин Н.Н., Гулько В.Л. Заявл. 29.01.85.

**ОБНАРУЖЕНИЕ ЦЕЛЕЙ И ИЗМЕРЕНИЕ КООРДИНАТ
РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИЕЙ В РЕЖИМЕ
ОБЗОРА**

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1.1. Изучение принципов построения типовой радиолокационной станции (РЛС) кругового обзора, предназначенной для измерения координат воздушных целей.

1.2. Ознакомление с особенностями измерения дальности и азимута в режиме кругового обзора по азимуту.

1.3. Исследование характеристик обнаружения РЛС.

Лабораторная установка состоит из измерительной системы, выполненной на основе приёмно-индикаторного канала типовой РЛС метрового диапазона (типа П-14) и имитатора целей и помех.

2. КРАТКОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

2.1. Общие сведения о построении РЛС

РЛС, приёмно-индикаторная часть которой составляет основу измерительной установки, предназначена для обнаружения самолетов и определения их текущих координат: азимута и наклонной дальности.

Текущая высота самолетов определяется радиовысотомером, работающим в комплексе с РЛС. Укрупнённая функциональная схема станции приведена на рис. 2.1.

В состав станции входят следующие основные блоки, каждому из которых присвоен номер:

- 1) щит сигнализации№ 4;
- 2) передатчик№ 20;
- 3) индикатор контроля№ 21;
- 4) блок видеосигналов№ 24;
- 5) синхронизатор№ 25;
- 6) калибратор№ 29;
- 7) входной блок череспериодной компенсации (ЧПК)№ 31;
- 8) блок первого потенциалоскопа№ 32;
- 9) выходной блок ЧПК№ 33;
- 10) блок второго потенциалоскопа№ 34;
- 11) блок спиральной развёртки№ 35;
- 12) блок стробов№ 36;
- 13) блок когерентного гетеродина№ 37;
- 14) блок компенсации скорости ветра№ 38;
- 15) пульт перестройки несущей частоты№ 44;
- 16) блок дискриминаторов№ 47;
- 17) блок быстроскоростной авторегулировки усиления (БАРУ)№ 49;
- 18) датчик азимутальных стробов№ 58;
- 19) сервоусилитель индикатора кругового обзора (ИКО)№ 60;
- 20) блок трубки (ИКО)№ 122;
- 21) блок развёртки№ 123;
- 22) пульт управления вращением антенны№ 143;
- 23) блок усилителя промежуточной частоты (УПЧ)№ 148;
- 24) пульт дистанционного управления№ 187;
- 25) блок питания БАРУ№ 210.

Расположение блоков в аппаратных стойках показано на рис. 2.2. Блоки передатчика, антенного коммутатора и УВЧ в состав измерительной установки не входят и на рис. 2.2 не показаны.

В станции используется импульсный метод измерения дальности. Наклонная дальность до цели может быть измерена с

помощью индикатора кругового обзора (блока № 122) или индикатора контроля (блок № 21), который попользуется как вспомогательной индикатор дальности (ИД). Для излучения и приёма электромагнитных колебаний в станции используется одна и та же антенная система, которая с помощью антенного коммутатора (блок № 113) поочередно подключается к генератору высокочастотных зондирующих импульсов или приемнику.

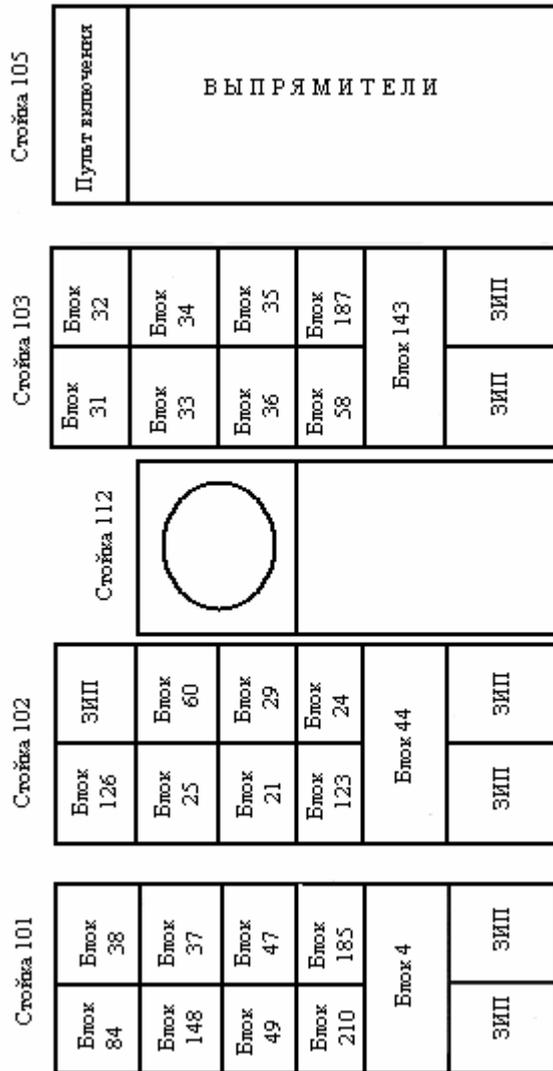
Вследствие несовершенства коммутирующего устройства часть энергии зондирующего импульса проходит в приёмник и формирует изображение на экранах индикаторов в блоках 21 и 22, обеспечивая этим начало отсчёта по дальномерным шкалам.

На экране индикатора кругового обзора наблюдаются все цели, находящиеся в зоне обнаружения станции. С помощью этого индикатора определяются: наклонная дальность и азимут.

Индикатор дальности представляет собой электронно-лучевую трубку с электростатическим отклонением, работающую в режиме ждущей развертки по горизонтали. Импульс, отраженный от цели, создаёт на экране трубки отклонение по вертикали.

Синхронность запуска разверток индикаторов (блоков 21 и 122) обеспечивается подаваемым на них положительным запускающим импульсом синхронизатора (блок 25), который также запускает передатчик. Импульсы синхронизации можно контролировать осциллографом в гнезде Г5 (блок 25).

Калибратор (блок 29) вырабатывает электрические метки дальности 10,50 и 100 километровые, которые поступают в блоки индикаторов 21 и 122. На экране блока 21 эти метки создают шкалу дальности. На ИКО масштабные метки описывают концентрические окружности. По масштабным меткам оператор определяет наклонную дальность до цели. Калибратор вырабатывает также азимутальные масштабные отметки на ИКО они высвечиваются в виде радиальных линий с шагом 10° . На обрамлении экрана ИКО также нанесена азимутальная шкала в градусах. По этим масштабным отметкам оператор определяет азимут целей. Яркость масштабных меток на ИКО можно изменять при помощи соответствующих регулировок (блок 24).



ЗИП - запасные части и принадлежности

Рис. 2.2. Расположение блоков в аппаратных стойках

Индикатор дальности обеспечивает работу на четырёх масштабах дальности 50, 200, 400 и 800 км. ИКО обеспечивает

работу на масштабах дальности 200, 400, 600 и 1200 км в режиме кругового обзора и в режиме кольцевого обзора на масштабе 200 км с дискретной задержкой импульса запуска через 100 км до дальности 600 км. Это позволяет просматривать все цели на дальности до 800 км участками по 100 км, что повышает возможность разрешения целей. Переключение масштабов осуществляется соответствующими органами управления на блоках 21 и 123 для ИД и ИКО, соответственно.

Защита станции от помех осуществляется при помощи специальной аппаратуры селекции движущихся целей (блоки 31-36, 58).

В станции предусмотрена защита от пассивных и активных помех.

Пассивная помеха может быть двух видов:

- 1) отражения от неподвижных местных предметов;
- 2) отражения от металлизированных диполей, движущихся со скоростью ветра.

Для защиты от пассивных помех применяется когерентно-импульсный метод. Сигнал, когерентный с излученным, формируется когерентным гетеродином, которому навязывается фаза излученного сигнала, и который сохраняет ее в течение периода следования импульсов. Сравнение излученного и принятых колебаний производится на фазовом детекторе, расположенном в блоке когерентного гетеродина. С выхода фазового детектора видеоимпульсы поступают на амплитуду СДЦ, где производится компенсация сигналов от неподвижных целей путем однократного или двукратного (по выбору оператора) череспериодного вычитания.

В качестве активной помехи могут быть:

- 1) несинхронные сигналы от близкорасположенных работающих РЛС;
- 2) преднамеренные активные помехи заградительные по частоте.

В отсутствии помех сигналы с выхода УПЧ (блок 148) без каких-либо преобразований через блок 31 аппаратуры СДЦ подаются непосредственно на вход обоих индикаторов.

Управление вращением антенны производится при помощи органов управления на блоке 143. Азимут цели определяется по

индикатору кругового обзора (блок 122), имеющему электронно-лучевую трубку с магнитным отклонением. Отклоняющие катушки трубки с помощью синхронно-следящего электропривода (ССП) вращаются синхронно с антенной системой, в результате чего радиальная развертка, созданная пилообразным током катушек, также вращается синхронно с антенной системой.

Функциональная схема ИКО приведена на рис. 2.3. Отраженные от цели импульсы, принятые антенной системой и усиленные приемником, поступают на управляющий электрод трубки, вызывая свечение экрана. Отраженные сигналы поступают в каждый период излучения передатчика.

Вследствие вращения антенны отраженные импульсы от цели на экране изображаются в виде яркой дужки, угловые размеры которой равны, примерно, ширине диаграммы направленности.

Направление от центра экрана трубки на центр дужки (от метки до цели) соответствует азимуту цели, который считывается непосредственно с азимутальной шкалы индикатора.

Изображение на экране трубки сохраняется в течение одного оборота антенны благодаря послесвечению флюоресцирующего слоя экрана и таким образом на экране

ИКО наблюдаются отметки всех целей, находящихся в зоне обнаружения станции.

В составе лабораторной установки антенная система, передатчик, антенный коммутатор и УВЧ отсутствуют. Сигналы на вход УПЧ поступают от имитатора целей. Также в составе лабораторной установки имеется имитатор вращения антенны.

В станции применена параболическая антенна, состоящая из зеркала – рефлектора и облучателя. Облучатель состоит из трех симметричных полуволновых вибраторов с рефлекторами. Диаграмма направленности антенны в горизонтальной плоскости (рис. 2.4) имеет вид узкого луча, ширина которого в небольших пределах изменяется по диапазону.

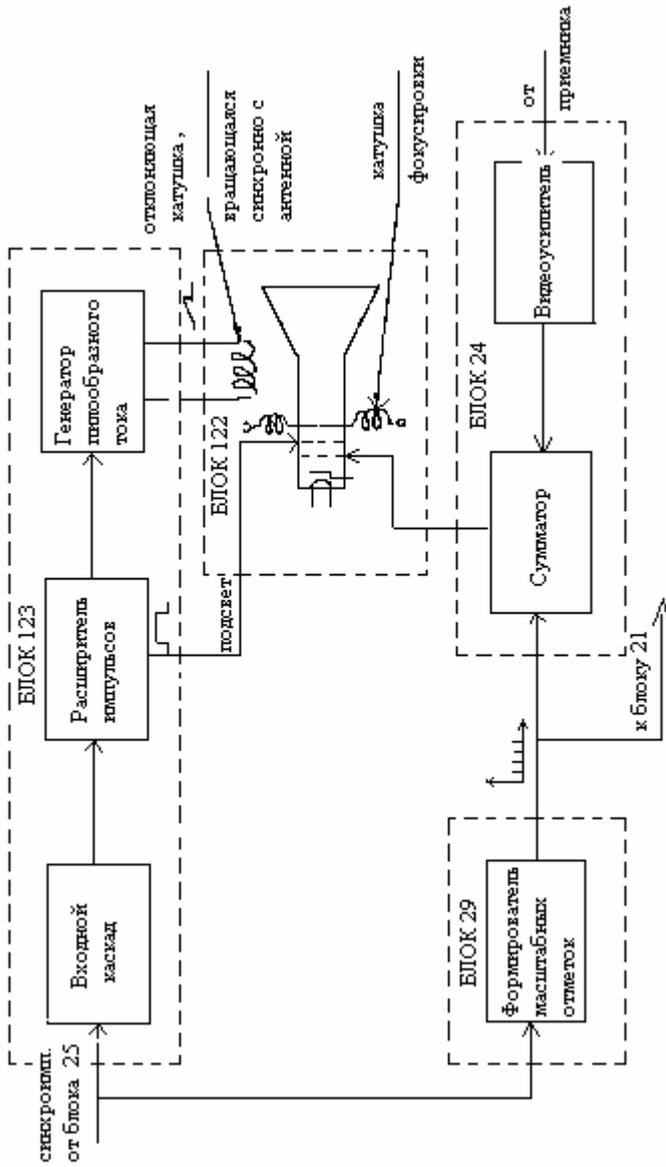


Рис. 2.3. Укрупненная функциональная схема ИКО

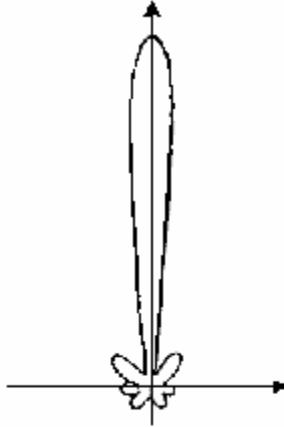


Рис. 2.4. Диаграмма направленности антенной системы в горизонтальной плоскости

Форма диаграммы направленности в вертикальной плоскости (рис. 2.5) зависит от высоты подъёма антенны над землёй, от наклона антенны относительно плоскости горизонта и от положения облучателя.

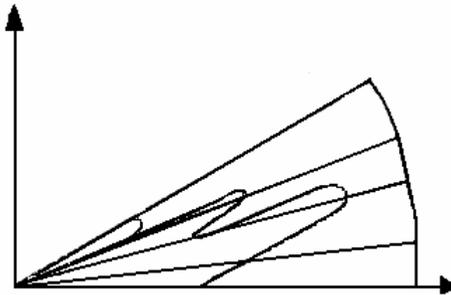


Рис. 2.5. Диаграмма направленности антенной системы в вертикальной плоскости

Угол между фокальной осью параболоида и плоскостью горизонта составляет 6° . В результате наклона антенны амплитуда отраженной волны оказывается меньше амплитуды прямой волны, чем достигается отсутствие глубоких провалов в диаграмме.

2.2. Основные тактико-технические параметры РЛС

РЛС П-14 имеет следующие тактико-технические параметры:

- 1) диапазон частот перестройки станции от 160 до 200 МГц;
- 2) основная рабочая частота f_0 180 МГц;
- 3) частота повторения импульсов F_n – от 185 до 200 Гц;
- 4) дальность обнаружения (Д) одиночного самолета при полёте в направлении на станцию:
 - на высоте 500 м не менее 80 км ;
 - на высоте 10000 м не менее 300 км;
 - на высоте 20000 м не менее 400 км;
- 5) обзор по углу места (при высоте полета 10000 м) -12°;
- 6) параметры диаграммы направленности (ДН):
 - направление максимума ДН по углу места не выше 2°40' ;
 - направление первого минимума – в пределах (4-6)°;
 - ширина ДН антенны в горизонтальной плоскости (на уровне 0,5 от максимального значения мощности) – не более 4°20' ;
 - уровень боковых лепестков ДН в диапазоне рабочих частот – 2,5%;
- 7) импульсная мощность передатчика – 700. кВт;
- 8) длительность импульса – (10±1) мкс;
- 9) промежуточная частота приёмника – 10 МГц ± 50 кГц;
- 10) ширина полосы пропускания УПЧ, измеренная на уровне 0,7 – (150 ± 50) кГц;
- 11) чувствительность (при четырехкратном превышении сигнала над шумами) – 4 мкВ;
- 12) ошибки определения координат целей при работе в амплитудном (незащищенном) режиме на дальностях 100-200 км не более:
 - по наклонной дальности – ± 1500 м;
 - по азимуту – ± 1,5°;
- 13) разрешающая способность станции (на дальностях более 100 км):
 - по дальности не хуже – 3,5 км;
 - по азимуту не хуже – 8°.

3. ПОИСК, ОБНАРУЖЕНИЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ ЦЕЛИ

3.1. Поиск и обнаружение целей

В РЛС П-14 для обнаружения целей применяется круговой поиск. Обнаружение целей производится визуально операторами по ИКО и индикатору дальности.

При появлении самолета в зоне обнаружения на экранах индикаторов на соответствующих расстояниях и азимуте появится отраженный сигнал в виде дужки на индикаторе кругового обзора и в виде треугольного импульса на индикаторе дальности.

Оператор станции обязан знать картину местных предметов (их азимут и дальность), изображаемую на экранах индикаторов, а также характер сигналов, чтобы во время работы не путать их с сигналами от целей.

3.2. Определение наклонной дальности

Определение координат цели производится при соответствующем положении переключателя масштабов ИКО в зависимости от места нахождения цели.

При считывании координат целей с экранов индикаторов точность определения координат зависит от масштаба развертки.

Наклонная дальность определяется оператором по ИКО как расстояние от начала развертки до ближнего края дужки (отметки цели).

Расстояние до цели считывается по электрическим масштабным отметкам дальности (по масштабным кольцам).

Переключатель рода работы на блоке видеосигналов (блок 24) должен при этом находиться в положении: ЭХО-ЗАПР. +МАСШТ.

Определение наклонной дальности в любом случае может быть произведено и по индикатору контроля, для чего переключатель рода работы необходимо поставить в положение ЭЗ+М+З (ЭХО ЗАЩИЩЕННОЕ + МАСШТАБ + ЗАПРОС). Дальность по этому индикатору также считывается оператором

по электрическим масштабным отметкам дальности. Дальность определяется по левому краю основания сигнала.

3.3. Определение азимута

Азимут цели определяется оператором по индикатору кругового обзора путём визуального отсчёта азимута середины дужки (цели) с помощью электрических азимутальных отметок.

4. КРАТКОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ИМИТАТОРА ЦЕЛЕЙ И ПОМЕХ

4.1. Назначение имитатора

Имитатор целей и помех предназначен для тренировки расчётов радиолокационной станции «П-14» как при включенном, так и при выключенном передатчике; при этом работа может производиться как при вращении антенны, так и при имитации вращения антенны.

Имитатор создаёт на экранах индикаторов импульсы по своей форме подобные импульсам, отраженным от реальных целей и пассивных помех.

Имитируются следующие цели и помехи:

- 1) две одиночные цели;
- 2) две групповые цели;
- 3) две «свои» цели;
- 4) пассивная помеха;
- 5) активная помеха.

Примечание. В связи с тем, что в составе лабораторной установки отсутствует УВЧ, имитатор активной помехи не задействован.

4.2. Функциональная схема

Функциональная схема имитатора приведена на рис. 4.1.

Имитатор состоит из пяти блоков:

- 1) блок имитатора групповых целей (блок 80);
- 2) блок имитатора одиночных целей (блок 81);
- 3) блок имитатора «своих» целей (блок 82);
- 4) блок имитатора помех (блок 83);

5) блок имитатора эффекта Доплера (блок 84).

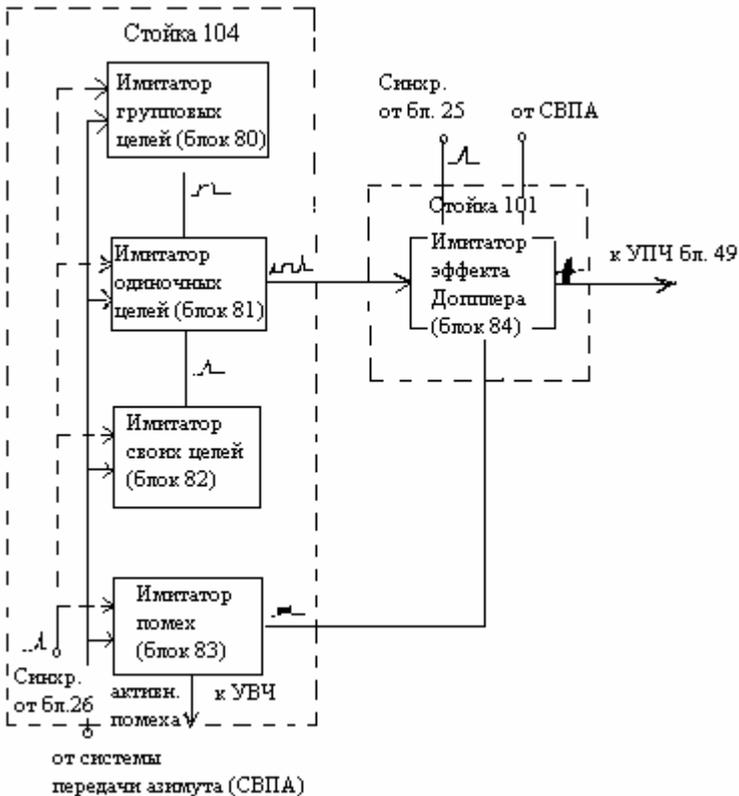


Рис. 4.1. Укрупненная функциональная схема имитатора

Все блоки имитатора запускаются импульсом синхронизации станции от блока 25. В каждый из блоков имитатора поступает информация об ориентации антенны или имитатора вращения антенны от системы вращения и передачи азимута (СВПА).

Блоки имитатора 80, 81, 82 и 83 вырабатывают видеосигналы двух групповых целей, двух одиночных целей, двух «своих» целей и пассивной помехи соответственно.

Видеосигнал «своей» цели представляет собой два импульса, следующих друг за другом, один из которых является

импульсом, отраженным от «своей» цели, а второй – импульс, переизлученный самолетным автоответчиком. На ИКО видеосигналы «своих» целей выглядят в виде двойной дужки.

Под пассивной помехой подразумеваются сигналы, отраженные от неподвижных местных предметов, а также сигналы, отраженные от объёмно-распределенной цели, движущейся со скоростью ветра, какой является металлизированные диполи, сброшенные с самолета.

Видеосигналы целей и пассивной помехи поступают в блок имитатора аффекта Допплера (блок 84), где преобразуются в сигналы промежуточной частоты. Кроме того, в блоке 84 производится сдвиг промежуточной частоты на десятки Герц, что позволяет получать эффект движения целей и помех. Величина сдвига промежуточной частоты зависит от ориентации антенны либо имитатора вращения.

4.3. Работа с имитатором

4.3.1. Имитатор групповых целей

В этом блоке имитируются две групповые цели. Количество самолетов в группе может изменяться при помощи регулировки КОЛИЧ. ЦЕЛЕЙ (блок 80) от двух до шести.

Обе групповые цели всё время находятся на одинаковой дальности, но разнесены по азимуту. Групповые цели движутся по маршруту, задаваемому автоматическим курсозадающим устройством (АКУ). Скорость движения задаётся регулировкой СКОРОСТЬ, (блок 80). Уровень сигнала групповых целей устанавливается регулировкой АМПЛИТУДА (блок 80), Азимут и дальность одной из целей индицируется на соответствующих шкалах блока.

4.3.2. Имитатор одиночных целей

В этом блоке имитируются две одиночные цели. Ручкой ДАЛЬНОСТЬ-АЗИМУТ (блок 81) можно изменять дальность до целей (вращение против часовой стрелки), либо азимут целей (вращение по часовой стрелке). Дальность изменяется от 40 до 400 километров, а азимут от нуля до 360°.

Как и в имитаторе групповых целей в данном блоке обе цели находятся на одной и той же дальности и разнесены по азимуту. Уровень сигнала задаётся регулировкой АМПЛИТУДА (блок 81).

Азимут и дальность одной из целей индицируются на соответствующих табло блока.

4.3.3. Имитатор «своих» целей

В этом блоке имитируются две "свои" цели, находящиеся на одинаковой дальности и разных азимутах. Дальность и азимут изменяются при помощи соответствующих органов управления (блок 62). Дальность в пределах от 40 до 400 км, а азимут в пределах от нуля до 360°. Уровень сигнала целей регулируется ручкой АМПЛИТУДА, (блок 82).

4.3.4. Имитатор помех

Этот блок вырабатывает сигналы пассивной помехи.

При помощи соответствующих органов управления (блок 83) можно изменять протяженность помехи, сектор, занимаемый помехой на экране ИКО, амплитуду помехи, а также азимут и дальность помехи. Азимут и дальность помехи изменяются в тех же пределах, как и у одиночных целей.

4.4. Конструктивное оформление имитатора

Имитатор целей и помех выполнен в виде отдельной стойки (стойка 104) со своим выпрямителем и пультом включения. В состав имитатора входит блок имитации эффекта Допплера , расположенный в стойке 101. Расположение блоков имитатора в аппаратных стойках показано на рис. 4.2.

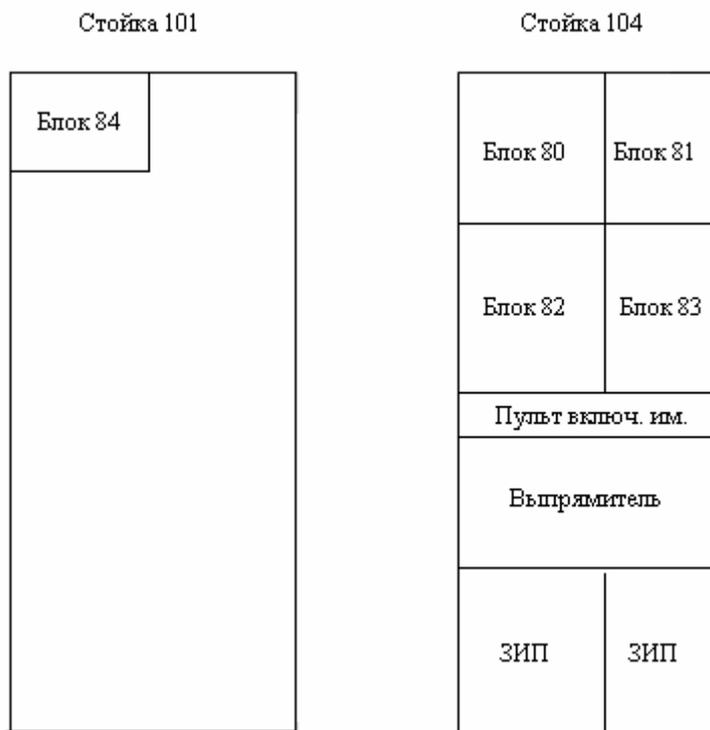


Рис. 4.2. Расположение блоков имитатора в аппаратных стойках

4.5. Имитация вращения антенны

Вращение антенны имитируется двумя способами:

1) при установке тумблера СЛЕЖЕНИЕ - ИМИТАТОР на блоке сервоусилителя ИКО (блок 60) в положение ИМИТАТОР имитация вращения достигается путём подачи управляющего напряжения непосредственно на обмотку двигателя ИКО;

2) при установке того же тумблера в положение СЛЕЖЕНИЕ имитация вращения обеспечивается при помощи имитатора вращения антенны, состоящего из двигателя и двух сельсин-приемников, расположенных в блоке ИКО и связанных с его двигателем. Управление имитатором вращения

обеспечивается с помощью переключателя СКОРОСТЬ ВРАЩЕНИЯ на щитке сигнализации (блок 4), посредством его установки в положение «2», «4» и «6», что соответствует скорости вращения антенны, 2, 4 и 6 оборотов в минуту, соответственно. При установке переключателя в положение «0» вращение отключается, т.е. таким образом можно остановить радиальную развертку ИКО на любом азимуте.

5. ВЛИЯНИЕ ИНДИКАТОРНЫХ УСТРОЙСТВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ РЛС

5.1. Визуальное обнаружение и оценка координат электронно-лучевыми индикаторами дальности и кругового обзора имеют ряд характерных особенностей, которые обусловлены свойствами электронно-лучевых трубок, психофизиологическими возможностями оператора и условиями наблюдения. Оператор совместно с индикатором образуют общую часть системы обработки информации и выполняют функции накопителя энергии сигналов пачки, порогового устройства и устройства отсчета координаты.

Рассмотрим кратко влияние системы оператор-индикатор на основные характеристики РЛС.

Оператор на основании анализа получаемой информации с учетом априорных сведений, полученных в процессе обучения и тренировок, принимает решение о наличии или отсутствии целей. При этом возможны два режима работы оператора:

1) режим визуального накопления, при котором световые возбуждения в трубке, имеющей малое послесвечение, следуют настолько часто (с периодом 01 с и менее), что глаз оператора (без участия сознания) реализует визуальное накопление. Указанный режим накопления характерен для работы оператора на индикаторе дальности (ИД) с амплитудной отметкой.

Экран трубки ИД имеет послесвечение, равное сотым долям секунды и интегрирование выполняет глаз оператора, постоянная времени которого составляет около 0,1 с, то есть существенно больше периода следования импульсов, равного 0,01 с. Исследования показывают, что система оператор – ИД по

своим свойствам практически эквивалентна свойствам идеального интегратора, обеспечивающего накопление без потерь за время облучения цели, которое у типовых РЛС обзора обычно не более десятых долей секунды;

2) режим визуальной корреляции, характерный при работе оператора ИКО. Особенность ИКО состоит в том, что траектории движения электронного луча в последовательных развертках по дальности не совпадают вследствие кругового вращения луча. Постоянная времени послесвечения экрана ИКО существенно больше, чем у ИД. Яркая отметка сигнала при этом оставляет на экране близко расположенные следы, которые оператор благодаря особенностям памяти обнаруживает лучше, чем обычную яркостную отметку, формируемую наложением разверток. Указанный способ «накопления» не эквивалентен простому суммированию и называется визуальной корреляцией. Экспериментальные исследования показывают, что эффект накопления при визуальной корреляции находится по своему значению между когерентной и некогерентной обработкой слабых сигналов (рис. 5.1).

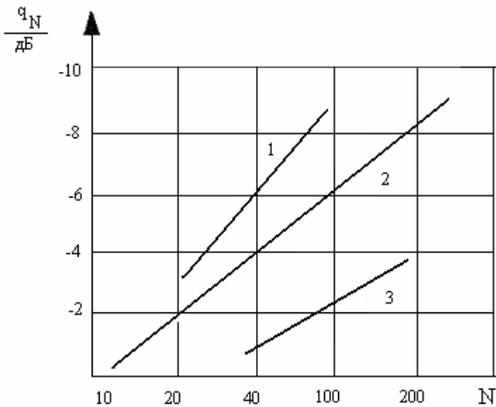


Рис. 5.1. Зависимость порогового отношения сигнал/шум q_N от числа интегрируемых импульсов N для вероятности правильного обнаружения $D = 0,5$:

1 – при когерентной обработке; 2 – при визуальной корреляции; 3 – при некогерентной обработке и идеальном интегрировании

Преимущество ИКО состоит в большей информативности, поскольку он обеспечивает двухкоординатную панорамную индикацию. Важной характеристикой индикатора для наземных и в особенности самолетных РЛС обзора является наблюдаемость целей, которая зависит от контрастности изображения.

Для яркостных индикаторов типа ИКО контрастность, определяется динамическим диапазоном изменений яркости свечения, составляющим для ИКО довольно малую величину - 10-15 дБ. Практически достаточной считается наблюдаемость, при которой обеспечивается различение сигналов от морской поверхности, земли и цели, т.е. индикатор имеет три градации: «темный» – гладкая морская поверхность; «серый» – земля; «белый» – цель.

Сопряжение диапазона изменений уровня сигнала на входе приёмника РЛС, а он может достигать величины 80-100 дБ, с диапазоном ЭЛТ реализуется в трехтоновых видеоусилителях, осуществляющих сжатие динамического диапазона.

5.2. Точность

Суммарная среднеквадратическая погрешность измерения координаты при условии независимости ошибок от различных факторов вычисляется по формуле

$$S_{\Sigma} = \sqrt{S_{\text{вн}}^2 + S_{\text{ш}}^2 + S_{\text{АПЧ}}^2},$$

где $S_{\text{вн}}, S_{\text{ш}}, S_{\text{АПЧ}}$ – среднеквадратические ошибки, обусловленные тремя факторами, соответственно, внешней средой, влиянием шума приемно-усилительных устройств и аппаратурой станции. Индикаторное устройство вносит существенный вклад в аппаратурную погрешность. Величина вклада определяется, в основном, масштабом шкалы и применяемым методом отсчета.

В случае измерения дальности, из равенства максимального времени задержки зондирующего сигнала и времени движения луча по экрану следует что

$$\frac{2D_{\text{шк}}}{c} = \frac{l_{\text{шк}}}{v_p}, \quad D_{\text{шк}} = M_D l_{\text{шк}}, \quad M_D = \frac{c}{2v_p}, \quad (5.1)$$

где $D_{шк}, l_{шк}$ – соответственно максимальная дальность, считываемая по шкале и длина шкалы (рабочей части экрана индикатора); M_D – масштаб шкалы по дальности. Оценка дальности до цели

$$D_y^* = M_D l_y^*, \quad (5.2)$$

где l_y^* – оценка расстояния по шкале до отметки от цели. Ошибки в знании величины M_D – ошибки масштаба, как следует из (5.1) зависят от стабильности скорости распространения радиоволн и скорости развертки v_p . Величина ошибок масштаба обычно мала в сравнении с ошибками отсчета (ошибки оценки l_y^*), которые возникают вследствие интерполяции положения отметки цели между делениями шкалы и параллакса (при механической шкале). Практически установлено, что ошибки интерполяции и параллакса при оценке положения отметки по механической шкале

$$s(D_y^*) = 0,15 M_D \Delta l, \quad (5.3)$$

где Δl – расстояние между делениями шкалы и

$$s(D_y^*) = (0,1 - 0,05) M_D \Delta l \quad (5.4)$$

при оценке по электронной шкале.

Оценим ошибку отсчета вследствие конечности размеров пятна. Максимальное значение ошибки в оценке расстояния составляет половину размера пятна d_n

$$(\Delta l_y^*)_{\max} = (l_y - l_y^*)_{\max} = 0,5 d_n, \quad (5.5)$$

где l_y – истинное значение расстояния до отметки по шкале.

Согласно (5.1) максимальная ошибка оценки дальности

$$\Delta D_{y \max}^* = \Delta l_{y \max} \cdot M_D = 0,5 \frac{d_n D_{шк}}{l_{шк}} = 0,5 \frac{D_{шк}}{Q}, \quad (5.6)$$

где $Q = l_{шк} / d_n$ – эквивалентная разрешающая способность трубки, которая учитывает размер $l_{шк}$ рабочей части экрана трубки.

5.3. Разрешающая способность

Мерой разрешения двух целей по некоторой пространственной координате x является наименьшая разность их координат, при которой обеспечивается раздельное наблюдение целей. При этом полагают, что цели "точечные" и различаются только по координате x . В качестве критерия раздельного наблюдения часто используют критерий, введенный Релеем в оптике: отклики прибора от двух источников различны, если спад интенсивности изображения (яркости или амплитуды на экране индикатора) при переходе от одного максимума к другому равен некоторой заданной величине. Обоснованных рекомендаций по выбору величины спада при использовании критерия Релея для задач разрешения радиолокационных целей в литературе не приводится. Практически достаточным для разрешения целей считают величину спада не менее 3 дБ.

Потенциальная разрешающая способность в смысле критерия Релея соответствует идеальным условиям приёма, справедливым при большом отношении сигнал/шум и идеальной фокусировке изображения. Реальная разрешающая способность в РЛС с визуальной индикацией целей снижается за счет конечности размеров пятна на ИД и ИКО.

В практических расчетах полагают, что снижение разрешающей способности за счет индикатора равно значению размера пятна по координате x

$$d(x)_{\text{инд}} = d_n M_x,$$

где M_x – масштаб шкалы индикатора по координате.

Определим масштаб ИКО по азимуту. Составим пропорцию

$$\frac{360^\circ}{2pl_{\text{ц}}} = \frac{d_n^\circ}{d_n} = M_a, \quad (5.7)$$

где $l_{\text{ц}}$ – расстояние от центра экрана до отметки от цели;

d_n° – размер отметки в градусах. Поскольку $D_{\text{ц}} = M_D l_{\text{ц}}$ для масштаба азимутальной шкалы ИКО получим

$$M_a = \frac{180}{pD_u} M_D \quad (5.8)$$

Особенность ИКО состоит в том, что при заданном масштабе по дальности, величина (5.8) не остается постоянной для различных дальностей. Изображение сжимается по углу при приближении к центру экрана.

6. ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБНАРУЖЕНИЯ РЛС

Качественные показатели радиолокационного обнаружения определяются величинами вероятностей ложной тревоги F правильного обнаружения D .

Вероятность ложной тревоги F равна вероятности превышения шумовым сигналом $F(t)$ порогового уровня U_0 . Полагая, что детектор работает в линейном режиме и, принимая распределение вероятностей огибающей шума в форме Релея, получим

$$F = P\{E > U_0\} = \int_{U_0}^{\infty} \frac{E}{S_{ш}^2} e^{-\frac{E^2}{2S_{ш}^2}} dE = e^{-\frac{U_0^2}{2S_{ш}^2}}, \quad (6.1)$$

где $S_{ш}^2$ – мощность (дисперсия) флуктуации напряжения шума.

Процесс появления ложных тревог иллюстрирует рис. 6.1. Для оценки вероятности ложной тревоги можно использовать следующие соотношения. В приёмнике без стробирования с шириной полосы пропускания ΔF интервал корреляции шума приближенно равен $1/\Delta F$. Поэтому за время наблюдения T_H на вход порогового устройства поступает приблизительно $n = \Delta F \cdot T_H$ независимых шумовых выбросов, каждый из которых может превысить или не превысить порог. Оценкой вероятности ложной тревоги F^* может служить величина частоты превышения порога при большом времени наблюдения

$$F^* = \lim_{T_H \rightarrow \infty} \frac{n_{л.т.}}{\Delta F T_H}, \quad (6.2)$$

где $n_{л.т.}$ – количество превышений порога на интервале T_H .

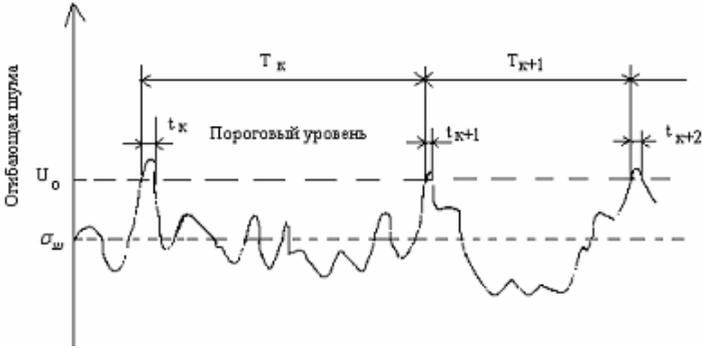


Рис. 6.1. Иллюстрация появления ложных тревог

Вероятность ложной тревоги можно оценить через период ложных тревог T_F , определяемый как среднее значение временного интервала между превышениями порога шумовыми выбросами

$$T_F = \lim_{n_{Л.Т.} \rightarrow \infty} \frac{1}{n_{Л.Т.}} \sum_{K=1}^{n_{Л.Т.}} T_K = \overline{T_K}. \quad (6.3)$$

Тогда для оценки ложной тревоги получим

$$F^* = \lim_{n_{Л.Т.} \rightarrow \infty} \frac{\frac{1}{n_{Л.Т.}} \sum_{K=1}^{n_{Л.Т.}} t_K}{\frac{1}{n_{Л.Т.}} \sum_{K=1}^{n_{Л.Т.}} T_K} = \frac{\overline{t_K}}{\overline{T_K}}, \quad (6.4)$$

где $\overline{t_K}$ и $\overline{T_K}$ определены на рис. 6.1.

Полагая, что средняя длительность шумового выброса $\Delta t_K \approx \frac{1}{\Delta F}$, из формул (6.3) и (6.4) получим

$$F^* = \frac{1}{T_F \cdot \Delta F}. \quad (6.5)$$

Приравнивая (6.1) и (6.5), получим

$$T_F = \frac{1}{\Delta F} e^{\frac{U_0^2}{2s_w^2}}, \quad (6.6)$$

т.е. средний период ложных тревог экспоненциально зависит от величины нормированного порога U_0/S_u . Так, например, при ширине полосы пропускания $\Delta F = 1$ МГц величина $U_H = 101g(U_0^2/2S_u^2) = 12,95$ дБ приводит к периоду ложной тревоги $T_F = 6$ мин, а значение $U_H = 14,75$ дБ, отличающееся на 1,8 дБ, приводит к возрастанию периода ложной тревоги до 1000 минут.

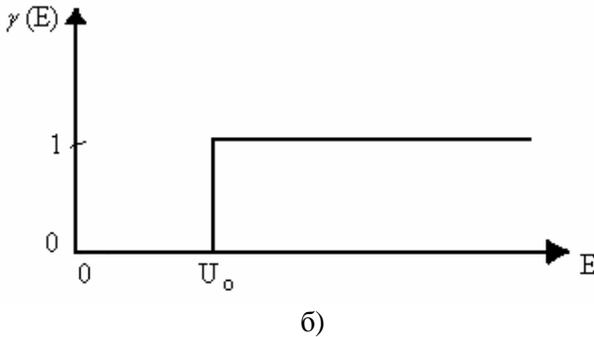
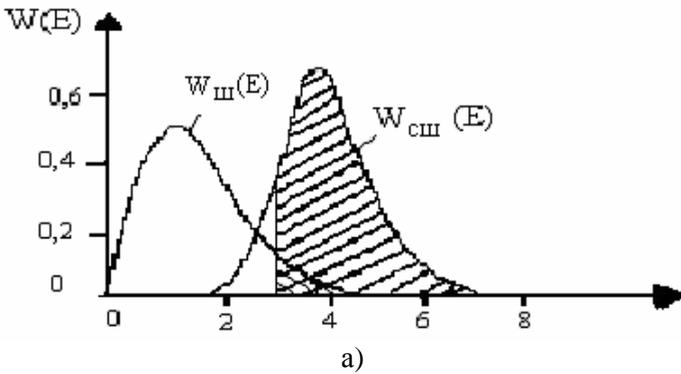
Для экспериментальной оценки вероятности ложной тревоги удобно использовать соотношение (6.2), при этом $n_{д.т.}$ можно определить с помощью счетчика импульсов. Для повышения надёжности измерений следует проводить несколько измерений при фиксированном времени наблюдения, определяя затем F^* как среднее по совокупности 10-15 опытов.

При наличии полезного сигнала с амплитудой A плотность распределения вероятностей огибающей смеси сигнала и шума определяется обобщенным законом Релея, и для вероятности правильного обнаружения получаем соотношение

$$D = \int_{U_0}^{\infty} \frac{E}{S_u^2} l^{\frac{E^2+A^2}{2S_u^2}} I_0\left(\frac{AE}{S_u^2}\right) dE, \quad (6.7)$$

где $I_0(x)$ – модифицированная функция Бесселя.

Статистические свойства смеси сигнала с шумом отличаются от статистических свойств только шума. В частности, наличие регулярного сигнала изменяет среднее значение огибающей на выходе детектора, а также мощность её флуктуаций (дисперсию), что и показано на рис. 6.2, где $W_u(E)$ – плотность вероятности огибающей шума; $W_{см}(E)$ – соответствующая функция для смеси сигнала и шума. Значения вероятностей F и D , равные интегралам (6.1) и (6.7) показаны на этом рисунке в виде соответствующих площадей под кривыми. Видно, что увеличение порога U_0 в целях уменьшения F ведёт к уменьшению величины D .



а) плотность вероятности шума $W_{ш}(E)$ и смеси сигнал-шум $W_{сш}(E)$ при $A/s_{ш} \approx 3$; б) функция решения $g(E)$

Рис. 6.2. Иллюстрация процесса порогового обнаружения

Вероятность правильного обнаружения D можно оценить, если при известном количестве сигнальных импульсов на входе приёмника подсчитать количество импульсов, превысивших порог ограничения. Считая, что общее количество импульсов на выходе порогового устройства равно сумме импульсов цели и шумовых импульсов, для оценки величины D имеем

$$D^* = \frac{n_{\Sigma} - n_{л.т.}}{n} \quad (6.8)$$

где n_{Σ} – суммарное количество импульсов на выходе порогового устройства;

$n_{л.т.}$ – количество ложных тревог (шумовых импульсов);

n – количество импульсов цели за время измерения.

Оценку D^* следует получать как среднее по серии 10-15 опытов.

Семейство функций $D = f\left(\frac{A^2}{2S_u^2}; F\right)$, где F – параметр,

называют характеристиками обнаружения.

Вид характеристик обнаружения зависит от статистических свойств сигнала и шума, а также, что более важно, от способа построения приёмного тракта, т.е. от тех преобразований, линейных и нелинейных, которые реализованы в приёмнике до порогового устройства.

На рис. 6.3 приведены характеристики обнаружения одиночного радиоимпульса со случайной начальной фазой в приёмном тракте с линейным детектором.

В случае приёма нескольких радиоимпульсов от цели, а это имеет место при работе РЛС в режиме сканирования ДН, целесообразно использовать все принятые от цели сигналы для улучшения ее обнаружения.

Обычно в приёмных трактах РЛС реализуют внутриимпульсную обработку сигналов (т.е. обработку одиночного импульса) и последующую междуимпульсную обработку, цель которой накопление (интегрирование) n сигналов, принятых за время облучения.

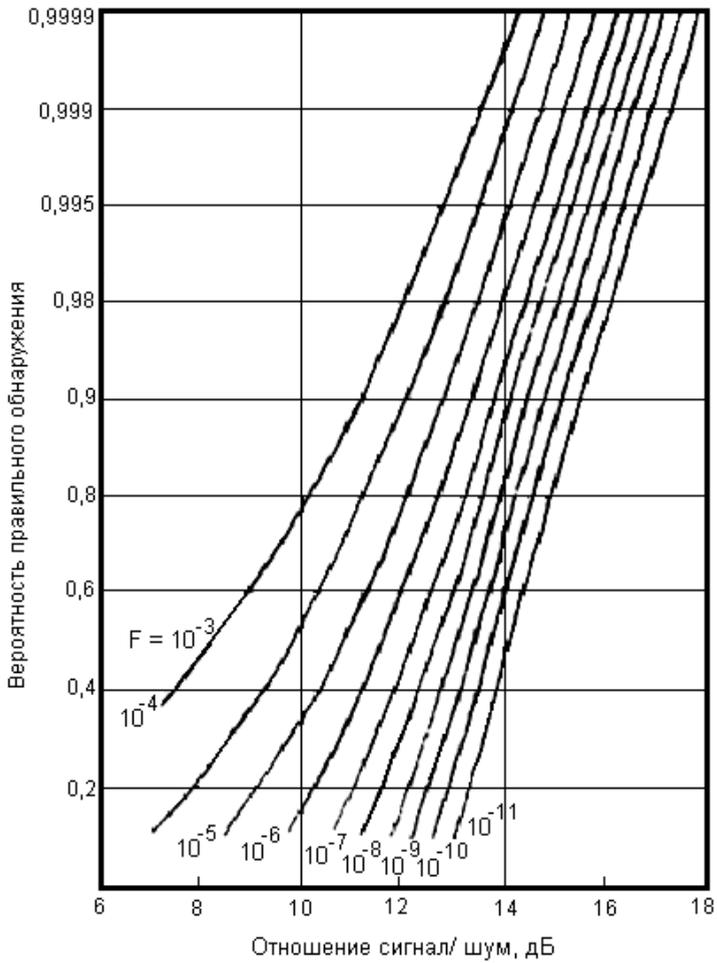


Рис. 6.3. Характеристики обнаружения радиоимпульса со случайной начальной фазой

7. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

7.1. Экспериментально определить максимальную однозначно измеряемую дальность РЛС. Для измерений использовать осциллограф СИ-68.

7.2. Экспериментально определить разрешающую способность по дальности ИКО и индикатора дальности (ИД), при различных масштабах разверток. Считать, что видеоимпульсы на экране ИД разрешаются, если они перекрываются не более чем наполовину.

7.3. Используя теоретические соотношения подраздела 5.3, рассчитать разрешающую способность индикаторов по дальности при различных масштабах разверток. По результатам п.п. 7.2 и 7.3 заполнить табл. 7.1 и построить графики зависимости $d(D_{ИКО}) = f(M_D)$.

Таблица 7.1

Масштаб, км		50	200	400	600	800	1200
$d(D_{ИКО})$, км	Расчет						
	Измерен.						
$d(D_{ИД})$, км	Расчет						
	Измерен.						

7.4. Экспериментально определить разрешающую способность ИКО по азимуту при различных масштабах развертки по дальности.

7.5. Используя соотношения подраздела 5.3, рассчитать разрешающую способность ИКО по азимуту при различных масштабах развертки. По результатам п.п. 7.4 и 7.5 заполнить табл. 7.2 и построить графики зависимости $d(a) = f(M_D)$.

Таблица 7.2

Масштаб, км		200	400	600	800	1200
$d(a)$, град	Измерен.					
$d(a)$, град	Расчет.					

7.6. Экспериментально снять зависимость разрешающей способности ИКО по азимуту от дальности до цели при масштабе развертки 600 км.

7.7. Пользуясь соотношениями подраздела 5.3 рассчитать зависимость $d(a) = f(D_u)$ при масштабе развертки $M_D = 600$ км. По результатам п.п. 7.6 и 7.7 заполнить табл.7.3 и построить графики зависимости $d(a) = f(D_u)$.

Таблица 7.3

Дальность, км		50	100	200	400	500
$d(a)$, град	Расчет.					
$d(a)$, град	Измерен.					

7.8. Снять характеристики обнаружения РЛС для трех значений порога. Порог изменять при помощи переключателя ПОРОГ на блоке 24 (положение переключателя «Р» соответствует ручной регулировке порога). Измерения производить при помощи счетчика ЧЗ-32 на выходе порогового устройства (гнездо Г 2.1 на блоке 24, Г 1.0 – корпус) при положениях переключателя ПОРОГ 1,2 и 3.

Регулировки блока 24 МЕТКИ ДАЛЬНОСТИ и МЕТКИ АЗИМУТА во время измерений должны находиться в крайнем левом положении. Отношение сигнал/шум изменять регулировкой АМПЛИТУДА на блоке 81, т.е. при снятии характеристик обнаружения использовать отметку цели, формируемую блоком 81.

По результатам измерений построить характеристики обнаружения.

7.9. По результатам работы сделать выводы.

8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

8.1. Объясните физические принципы измерения дальности и азимута, используемые в РЛС П-14.

8.2. Объясните методику экспериментальной оценки вероятности правильного обнаружения.

8.3. Перечислите способы уменьшения аппаратурной погрешности измерения дальности, реализованные в РЛС.

8.4. Какие по Вашему мнению можно предложить дополнительные меры с целью увеличения разрешающей способности по дальности и азимуту?

8.5. Какие по Вашему мнению недостатки имеет данная РЛС, если предъявлять к ней требования как к современным РЛС подобного назначения?

8.6. Объясните особенности работы оператора в режиме обнаружения цели на индикаторе дальности и ИКО.

8.7. Объясните положительные и отрицательные последствия увеличения скорости сканирования диаграммы направленности.

8.8. Объясните особенности работы РЛС при обнаружении и измерении координат низколетящих целей.

8.9. Что такое максимальная дальность однозначного отсчёта в импульсной РЛС?

8.10. В каких случаях возникает ложная тревога? Поясните вывод формулы (6.4).

8.11. Что такое период ложной тревоги и как его можно экспериментально определить при помощи осциллографа или частотомера?

8.12. Как влияет изменение порога на величину вероятности ложной тревоги и правильного обнаружения?

8.13. Что такое характеристики обнаружения? Чем определяется их вид?

8.14. Можно ли считать, что дальность действия РЛС есть величина случайная? Почему?

9. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- 9.1. Бакулев П.А. Радиолокационные системы. Изд. «Радиотехника». М., 2004. – 320 с.
- 9.2. Радиотехнические системы /Под ред. Ю.М. Казаринова. – М.: Советское радио, 1990.
- 9.3. Денисов В.П., Дудко Б.П. Радиотехнические системы. Изд-во ТУСУР, Томск, 2006 г.

**ИССЛЕДОВАНИЕ САМОЛЕТНОГО
РАДИОВЫСОТОМЕРА РВ-20**

1. ВВЕДЕНИЕ

Приборы, использующие частотный метод измерения дальности, нашли широкое применение для точного измерения высоты летательных аппаратов. Такие высотометры имеют ряд преимуществ перед импульсными: отсутствие мертвой зоны, малый уровень излучаемой мощности, отсутствие сложных модуляторов наносекундных импульсов и др. Работа посвящена изучению частотного радиовысотомера РВ-20.

2. СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

В частотных дальнометрах, как и во всех активных системах, дальность до объекта наблюдения измеряется по задержке принятого сигнала относительно зондирующего. Зондирующий сигнал – непрерывный, с частотной модуляцией. Задержка измеряется по изменению частоты между моментами приема и передачи (рис. 2.1).

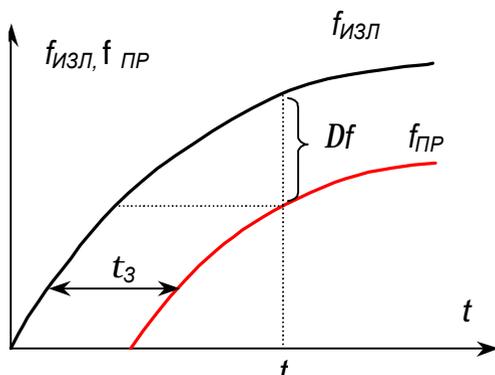


Рис. 2.1. Пояснения к принципу действия частотного дальнометра

Для нахождения связи между изменением частоты Δf и задержкой Δt положим, что на интервале задержки частота изменяется линейно – $\Delta f = \frac{df}{dt} \Delta t$. Тогда $\tau_3 = \Delta t = \frac{\Delta f}{df/dt}$, откуда

$$R = \frac{c}{2} \cdot \frac{\Delta f}{df/dt} \quad (2.1)$$

Разница частот выявляется как частота биений при подаче на нелинейный элемент (смеситель, детектор) принятого и зондирующего сигналов: $\Delta f = f_6$ (рис. 2.2). На рисунке УЧБ – усилитель частоты биений. Частота биений измеряется частотомером. По ней находится дальность до объекта наблюдения.

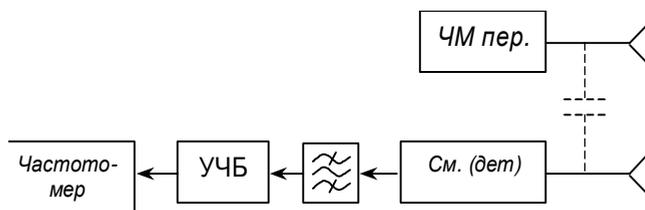


Рис. 2.2. Упрощенная структурная схема частотного дальномера

Закон изменения частоты излучаемых колебаний может быть различным, в частности, гармоническим или пилообразным. Изменение частоты обязательно должно быть знакопеременным, так как частота – ограниченный природный ресурс.

В радиовысотомере РВ-20 применяется модуляция частоты по симметричному пилообразному закону. Применение пилообразного, а не гармонического как в первых образцах отечественных высотомеров, закона модуляции вызвано необходимостью обеспечения разрешающей способности по дальности [1]. Разрешающая способность используется для выделения частоты биений, соответствующий истинной высоте самолета из спектра частот, обусловленного отражениями сигналов от всей области земной поверхности, облучаемой

передатчиком. Этот факт особенно важен при измерении высоты во время приема самолета.

Рассмотрим частотный дальномер, выполненный по схеме, представленной на рис. 2.2, и имеющий симметричный пилообразный закон частотной модуляции (рис. 2.3, а).

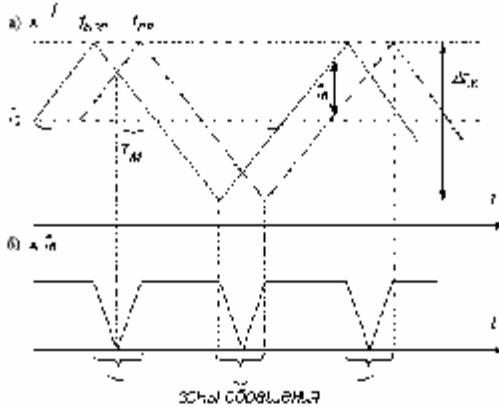


Рис. 2.3. Частотные соотношения к схеме рис. 2.2:
 а – частоты зондирующего и принимаемого сигналов;
 б – частота биений

Как видно из рисунка частота биений остается постоянной большую часть периода модуляции T_M и изменяется только в так называемых зонах обращения, длительность которых равна задержке принятого сигнала относительно зондирующего τ_3 . Обычно период модуляции выбирают значительно большим, чем максимальная ожидаемая задержка $\tau_{3\text{MAX}}$: $\tau_{3\text{MAX}} \leq (0,01 - 0,02)T_M$. Поэтому измеряемая частота биений f_6 определяется плоскими участками кривой на рис. 2.3, б. Для этих участков нетрудно получить, используя выражение (2.1)

$$R = \frac{f_6 c T_M}{2 \cdot 2 \Delta f_M} = \frac{f_6 c}{4 F_M \Delta f_M} \quad (2.2)$$

Оказывается, что дальность прямо пропорциональна частоте биений, поэтому частотомер можно проградуировать в единицах дальности.

Частотный метод измерения расстояния широко применяется в самолетных высотомерах, где используется его важное достоинство – отсутствие мертвой зоны.

Отметим, что схема частотного дальномера подобна схеме корреляционного измерителя, поэтому дисперсию шумовой составляющей погрешности измерения временной задержки найдем по формуле для дисперсии эффективной оценки

$$\sigma_{t^* \text{эф}}^2 = \frac{1}{\frac{2E}{N_0} \Delta f_{\text{СК}}^2},$$

где $\Delta f_{\text{СК}} = \frac{\Delta f_M}{2\sqrt{3}}$ – среднеквадратическая ширина спектра сигнала;

$E = P_{\text{пр}} T_{\text{изм}}$ – энергия сигнала за время измерения.

Погрешность измерения R зависит также от точности измерения, девиации частоты и частоты модуляции. Частота модуляции имеет кварцевую стабильность, а девиация имеет большую погрешность, в лучшем случае 10^{-3} . Соответствующая погрешность вычисляется по формуле

$$\left(\frac{\Delta R}{R} \right)_{\Delta f_M} = - \frac{\Delta(\Delta f_M)}{\Delta f_M}.$$

Для выяснения погрешности, связанной с неточностью измерения частоты биений, представим основную формулу частотного дальномера в виде

$$R = \frac{c}{4\Delta f_M} \cdot \frac{T_M}{T_6} = N \frac{c}{4\Delta f_M}.$$

Обозначим

$\frac{T_M}{T_6} = N$ – число периодов биений за период модуляции. Из

последних формул следует, что в качестве частотомера можно поставить счетчик числа периодов биений на периоде

модуляции. При этом может возникнуть ошибка на ± 1 биение из-за наличия зон обращения, где характер биений зависит от фазовых соотношений между принятым и опорным сигналами;

$$\Delta R_{\text{Диск}} = \frac{c}{4\Delta f_M} - \text{ошибка дискретности (постоянная ошибка}$$

частотного дальномера).

Ошибка дискретности – это принципиальная ошибка частотного метода измерения дальности при использовании периодического зондирующего сигнала с постоянным периодом T_M . Как следствие сигнал биений также периодический с периодом T_M , и его спектр состоит из гармоник частоты F_M . Поэтому частота может быть измерена только с точностью до дискрета, равного F_M .

Снижение самолета или набор высоты приводит к появлению доплеровского смещения частоты принимаемого сигнала относительно излучаемого:

$$f = f_0 \frac{2v_R}{c}.$$

Рассмотрим влияние эффекта Доплера на работу частотного дальномера.

Возможны два случая работы системы.

1. $f_D < f_0$ (рис. 2.4)

На рис. 2.4 штрих-пунктирной линией показано изменение частоты принимаемого сигнала от неподвижного объекта наблюдения. Разность между ней и сплошной линией, которая представляет частоту зондирующего сигнала, равна частоте биений f_0 соответствующей дальности до объекта. Пунктирная линия смещена относительно штрих-пунктирной вниз на частоту Доплера f_D и характеризует частоту сигнала, принятого от подвижного объекта. Из рисунка видно, что в течение одной половины периода модуляции частота биений принимает значение

$$f_{01} = f_0 - f_D,$$

а в течение другой

$$f_{62} = f_6 + f_D.$$

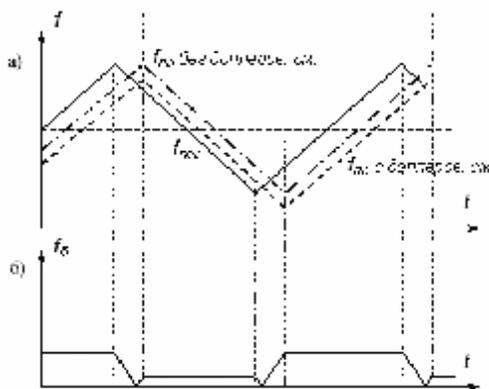


Рис. 2.4. Частотные соотношения к схеме рис. 2.2 при работе по движущейся цели ($f_D < f_6$): а – частоты зондирующего и принимаемого сигналов; б – частота биений

Частотомер измеряет среднюю частоту биений за период модуляции

$$f_{6, \text{cp}} = \frac{f_{61} + f_{62}}{2} = f_6.$$

Таким образом при $f_D < f_6$ доплеровское смещение частоты не влияет на среднюю частоту биений $f_{6, \text{cp}}$, которая и измеряется частотомером. Иными словами, движение объекта не влияет на измерение дальности до него.

2) $f_D > f_6$ (рис. 2.5)

На рис. 2.5 сохранены те же обозначения, что и на рис. 2.4. Из него следует, что в течение одной половины периода модуляции частота биений равна

$$f_{61} = f_D - f_6,$$

а в течение другой

$$f_{62} = f_D + f_6.$$

Средняя частота биений $f_{6, \text{cp}}$, измеряемая частотомером, равна

$$f_{\text{б.ср}} = \frac{f_{\text{б1}} + f_{\text{б2}}}{2} = f_{\text{б}}.$$

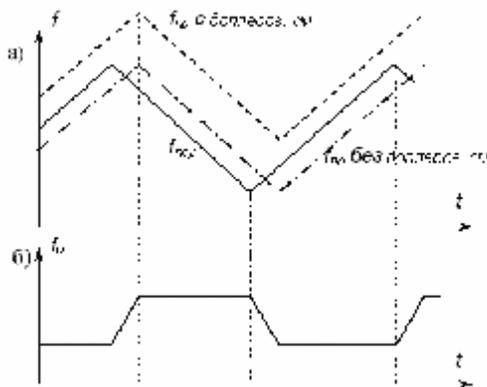


Рис. 2.5. Частотные соотношения к схеме рис. 2.2 при работе по движущейся цели ($f_{\text{д}} > f_{\text{б}}$): а – частоты зондирующего и принимаемого сигналов; б – частота биений

Таким образом, в данном случае дальномер измеряет не дальность, а радиальную скорость. Нетрудно подсчитать, что в условиях работы самолетных высотометров всегда выполняется условие $f_{\text{д}} < f_{\text{б}}$. Поэтому эффект Доплера не влияет на их работу. Отметим, что этот факт является следствием симметрии примененного закона частотной модуляции, когда половину периода модуляции частота излучаемого сигнала возрастает, а половину – убывает.

На выбор несущей частоты сигнала передатчика влияет требуемая величина девиации частоты, условия отражения сигнала от земной поверхности, конструктивные характеристики дальномера, его допустимые габариты (особенно размеры антенных систем).

3. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ, НАЗНАЧЕНИЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА РАДИОВЫСОТОМЕТРА

3.1. Принцип измерения высоты

В радиовысотомере РВ-20 измерение высоты осуществляется за счет изменения периода частотной модуляции сигнала передатчика T_M при постоянных значениях девиации частоты Δf_M и частоты биений f_6 .

Запишем основное уравнение частотной радиолокации (2.2) в виде

$$R = H = \frac{f_6 \cdot T_M c}{4\Delta f_M}, \quad (3.1)$$

где H – высота самолета.

В радиовысотомере РВ-20 девиация частоты фиксирована, а частота биений поддерживается постоянной $f_6 = f_{6_0}$ за счет соответствующего изменения периода модуляции T_M с помощью следящей схемы. Из формулы (3.1) следует, что если частота биений и девиация частоты постоянны, то высота H пропорциональна периоду модуляции T_M .

Это соотношение и используется для измерения высоты в данном высотомере.

Рисунок 3.1 иллюстрирует, что при фиксированных девиации частоты Δf_M и частоте биений f_6 период модуляции T_M действительно линейно связан с временем задержки τ_3 отраженного сигнала относительно излученного.

Соотношения, имеющие место в высотомере РВ-20 отличаются от представленных на рис. 3.1 тем, что в нем применена симметричная частотная модуляция.

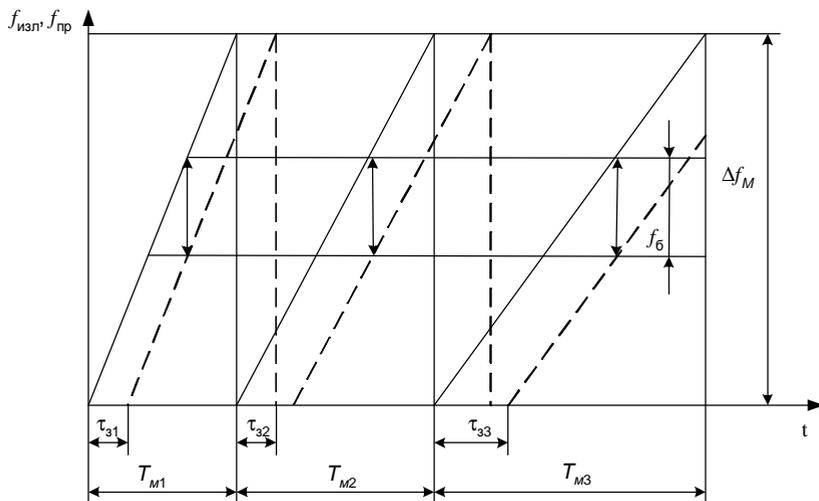


Рис. 3.1. Временные соотношения в частотном дальномере, где период модуляции «следит» за изменением задержки принятого сигнала относительно излученного

3.2. Назначение радиовысотмера РВ-20

Радиовысотмер РВ-20 предназначен для систем автоматической посадки самолетов по третьей категории Международной организации гражданской авиации ICAO и служит для измерения истинной высоты полета и скорости её изменения. Радиовысотмер выдает экипажу на приборную доску, а также в систему автоматической посадки и в другие бортовые системы следующую информацию:

- 1) данные о текущей высоте в диапазоне высот 0–1500 м;
- 2) данные о вертикальной скорости;
- 3) три разовых сигнала при снижении самолета до трех фиксированных высот;
- 4) сигнал «Исправность» при нормальной работе высотомера;
- 5) сигнал, соответствующий высоте принятия решений;
- 6) сигнал «Предупреждение» при отсутствии радиолокационного контакта с землей;

- 7) флажковый сигнал при возникновении неисправности;
- 8) сигнал «Высота» при полете ниже высоты, установленной на указателе высоты.

3.3. Характеристики радиовысотомера РВ-20

3.3.1. Тактические характеристики

Диапазон измеряемых высот – 0-1500 м.

Погрешность измерения при полете над гладкой водной поверхностью и взлетно-посадочной полосой:

1) по автоматическому выходу – в диапазоне высот до 30 м – 0.45 м; в диапазоне высот от 30 до 150 м – 0.02Н; в диапазоне высот от 150 до 1500 м – 0.05Н;

2) по стрелочному указателю высоты – в диапазоне высот до 10 м – 0.85 м; в диапазоне высот до 30 м – $0.04Н \pm 0.45$ м; в диапазоне высот от 150 м – 0.06Н; в диапазоне высот до 1500 м – 0.09Н.

Диапазон измеряемой скорости до ± 50 м/с.

Погрешность измерения скорости – по автоматическому выходу – $\pm (0.5 \pm 0.01Н + 0.1v)$ м/с, по стрелочному прибору – $(0.3 \pm 0.05Н)$ м/с.

Постоянная времени радиовысотомера – 0.1 с по автоматическому выходу и 0.5 с по указателю высоты.

Достоверность результатов технического состояния радиовысотомера – 0.999.

3.3.2. Технические характеристики

Режим работы – непрерывное излучение сигнала с частотной модуляцией.

Диапазон рабочих частот – 4200-4400 МГц.

Форма модулирующего напряжения – симметричное пилообразное.

Девияция частоты – 130 МГц.

Измерение высоты производится в режиме автоматического слежения за частотой биений с изменением периода модуляции.

Ширина диаграммы направленности антенны в полостях H и E – 45° .

Коэффициент усиления – 10 дБ.

Мощность передатчика – 150 мВт.

Чувствительность приёмника – 0.4 мкВ.

Полоса пропускания усилителя низкой частоты – 13 кГц.

Частота настройки следящего дискриминатора – 30 кГц.

3.3.3. Эксплуатационные характеристики

При полетах на малых высотах над толстым слоем сухого льда или снега высотомер может измерять высоту до нижней поверхности льда, т.е. будет давать ошибку; при полетах над густым лесом аналогично может быть измерена высота до верхней кромки деревьев.

При полете над горной местностью с большим перепадом высот высотомером пользоваться не рекомендуется, т.к. резкие изменения высоты могут выходить за пределы измеряемых высот.

При углах крена и тангажа более 40° высотомером пользоваться не следует.

Время непрерывной работы радиовысотомера – 6 часов.

3.4. Устройство радиовысотомера

Функционально радиовысотомер состоит из следующих блоков (рис. 3.2):

- 1) канала измерения высоты;
- 2) канала измерения вертикальной скорости;
- 3) канала автоматической подстройки периода модуляции;
- 4) канала автоматической калибровки;
- 5) канала автоматического контроля исправности высотомера;
- 6) узла питания.

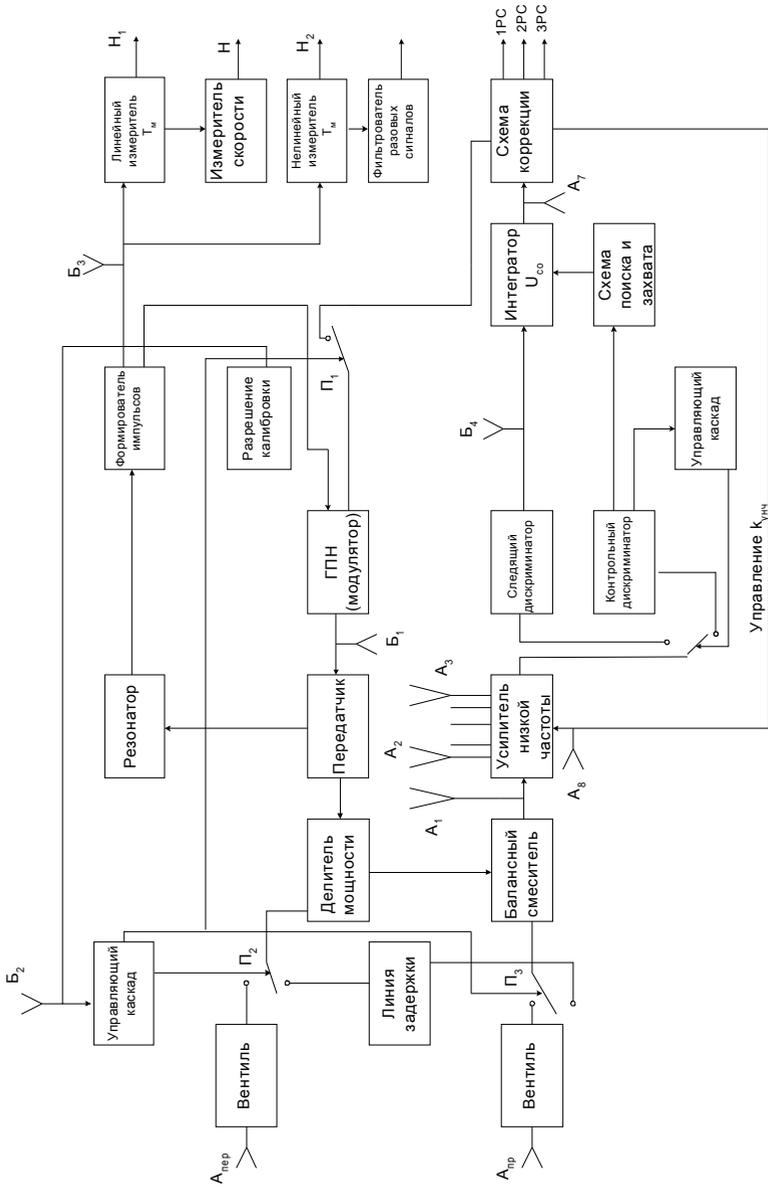


Рис. 3.2. Структурная схема радиовысотомера RB-20

Канал измерения высоты состоит из антенно-фидерной системы, частотно-модулируемого передатчика, приемника, включающего смеситель, усилитель сигнала биений, частотный дискриминатор, схему автоматической подстройки времени модуляции T_M в режиме калибровки и устройство измерения периода модуляции.

В комплект входят две антенны – передающая и приёмная. Ослабление прямого сигнала на входе приёмника порядка 60 дБ.

Для поддержания постоянства точности измерения высоты и для оценки механического состояния радиовысотомера применяется периодическое чередование режимов его работы по командам специального программного устройства (режим измерения высоты, режим автокалибровки). Продолжительность режима измерения высоты составляет примерно 0.35 с, а продолжительность режима автокалибровки – 0.05 с. В случае полетов вне рабочего диапазона высот, когда мощность отраженного от земли сигнала недостаточна для нормальной работы радиовысотомера, применяется дополнительный режим радиовысотомера – проверка АФУ, предназначенный специально для оценки технического состояния антенно-фидерной системы.

Режим проверки антенно-фидерной системы включается автоматически через 1 с после потери отраженного сигнала. Длительность режима проверки 0.35 с, период повторения около 1 с. В этом режиме сигнал с передающей антенны передается на принимающую антенну. В случае наличия сигнала на выходе приемника дается сигнал исправности высотомера и сигнал предупреждения о потере отраженного сигнала, в противном случае подается сигнал о неисправности высотомера.

В режиме автокалибровки сигнал передатчика поступает на эталонную линию задержки. Если измеренное значение эквивалентной высоты отличается от 15 м, то вырабатывается управляющий сигнал, который изменяет девиацию частоты до требуемого значения. В этом режиме время модуляции устанавливается фиксированным.

Передатчик собран по схеме – задающий генератор, усилитель мощности, умножитель частоты. Несущая частота

передатчика – 4350 МГц, мощность передатчика 150 мВт, крутизна модуляционной характеристики – 10 МГц/В, девиация частоты – 130 МГц, частота модуляции – от десятков герц до нескольких килогерц.

На входе приемника стоит смеситель, на который подается часть мощности передатчика для создания стабильного опорного сигнала. С выхода смесителя сигнал биений поступает на усилитель низкой частоты, имеющий среднюю частоту 30 кГц и полосу пропускания 13 кГц. Общее усиление приемного тракта около 140 дБ – 40 дБ в предварительном усилителе, 60 дБ в усилителе с регулируемым коэффициентом усиления и 40 дБ в конечном усилителе.

Коэффициент усиления УНЧ изменяется автоматически на 60-10 дБ под воздействием управляющего напряжения, формируемого в блоке коррекции для того, чтобы поддерживать примерно постоянным выходной сигнал при изменении высоты самолета.

С выхода УНЧ сигнал поступает на два частотных дискриминатора – контрольный и следящий.

Контрольный дискриминатор работает в режиме поиска и захвата сигнала и включает работу цепи слежения.

В режиме слежения напряжение с выхода следящего дискриминатора, представляющего собой по существу частотный детектор, построенный на частоту $f_{\delta_0} = 30$ кГц, через интегратор и схему коррекции поступает на генератор пилообразного напряжения (ГПН), служащий модулятором передатчика. Период модуляции изменяется под действием регулирующего напряжения, поступающего на модулятор от блока коррекции.

Если частота сигнала с выхода УНЧ не равна f_{δ_0} , следящий дискриминатор вырабатывает сигнал ошибки e , изменяющий период модуляции T_M так, чтобы это равенство соблюдалось.

Частотная характеристика следящего дискриминатора представлена на рис. 3.3 б).

Таким образом радиовысотомер включает в себя контур автоматического слежения за частотой биений, включающий в

себя модулятор передатчика с управляемым периодом модуляции УМ-передатчик, среду распространения радиоволн, смеситель, частотный детектор, интегратор, схему коррекции.

В этой цепи интегратор устраняет статическую ошибку в определении равенства частоты биений величине f_{δ_0} (кольцо слежения является системой автоматического регулирования с астатизмом первого порядка), а также выполняет фильтрующие свойства в кольце слежения. Схема коррекции представляет собой устройство, коэффициент передачи которого

$$k = Ae^{-au},$$

где A, a – постоянные коэффициенты,

u – напряжение интегратора.

Схема коррекции позволяет компенсировать зависимость коэффициента передачи контура слежения от времени задержки сигнала на трассе распространения τ_3 , что улучшает динамические характеристики радиовысотомера.

Напряжение с выхода схемы коррекции используется также для регулировки коэффициента усиления УНЧ, так чтобы его выходные сигналы мало зависели от высоты полета самолета.

Как следует из рис. 3.3 б) система автоматического слежения за частотой f_6 работает только в том случае, если она попала в полосу пропускания следящего дискриминатора.

Для поиска и обнаружения сигнала биений при первоначальном включении радиовысотомера или при потере сигнала служит устройство поиска и обнаружения.

Устройство обнаружения сигнала биений состоит из контрольного дискриминатора и схемы поиска и захвата.

Поиск заключается в последовательном изменении периода модулирующего сигнала, как показано на рис. 3.1 под действием напряжения, формируемого блоком поиска и захвата, до тех пор пока частота биений с выхода УНЧ не попадет в полосу пропускания контрольного дискриминатора (см. рис. 3.4 а)) и его выходной сигнал не превысит некоторый пороговый уровень.

При превышении порога поиск сигнала прекращается и включается схема слежения за частотой сигнала биений, которая устраняет ошибку ϵ , обусловленную неравенством f_{δ} и f_{δ_0} .

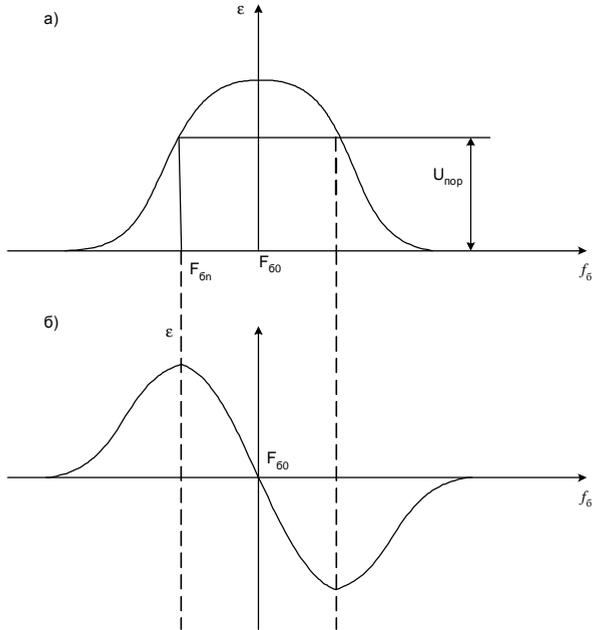


Рис. 3.3. а) – напряжение на выходе контрольного дискриминатора;

б) – напряжение на выходе следящего дискриминатора

В формирователе импульсов (см. рис. 3.2) формируется импульс, длительность которого равна длительности пилообразного напряжения. Это напряжение поступает в устройство, называемое линейным периодометром. В нем формируется напряжение, прямо пропорциональное длительности пила, а, следовательно, и высоте. Это напряжение идет в цепи измерения высоты (до высот 150 м) и в схему измерения вертикальной скорости, которая определяется как производная от дальности.

Кроме линейного, имеется еще и нелинейный измеритель периода модуляции с квазилогарифмической зависимостью выходного напряжения от высоты. Этот измеритель работает в диапазоне высот 150 – 1500 м. С выхода измерителя напряжение подается в систему индикации высоты и на устройство, формирующее разовые сигналы при достижении самолетом некоторых фиксированных высот.

В состав радиовысотомера входит также устройство управления автокалибровкой и устройство автоматического контроля, выдающее разрешающий сигнал для измерения в случае исправности высотомера. Вероятность правильной выдачи сигнала исправности – 0,999.

4. ОПИСАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

4.1. Схема экспериментальной установки

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 4.1.

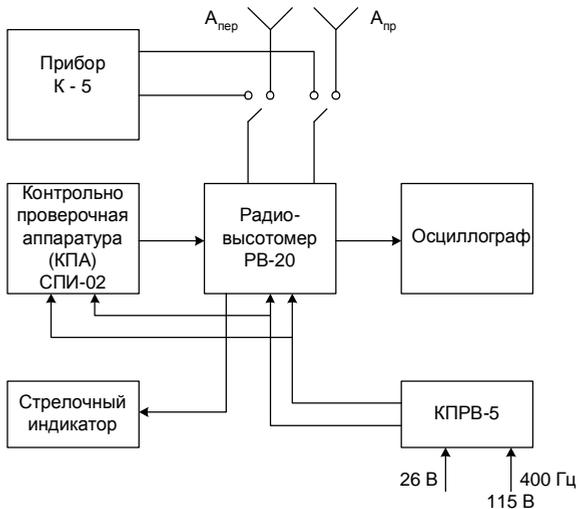


Рис. 4.1. Схема экспериментальной установки

Функциональная схема состоит из следующих блоков:

- 1) собственного радиовысотомера, включающего передатчик, приемник и измерительные цепи;
- 2) контрольно-проверочной аппаратуры, создающей сигналы, имитирующие рабочие сигналы радиовысотомера;
- 3) линии задержки с калиброванным ослаблением (прибор К-5);
- 4) осциллографа;
- 5) стрелочного индикатора высоты;
- 6) щитка включения питания КПРВ-5.

4.2. Обозначения на панели прибора СПИ-02

Для прибора СПИ-02 приняты следующие условные обозначения и сокращения:

РВ	- радиовысотомер;
Ни	- имитируемая высота;
Кст	- коэффициент стоячей волны по напряжению;
$U_{\text{откл. УРЧ}}$	- напряжение отключения усилителя разностной частоты;
$U_{\text{захвата}}$	- напряжение захвата;
$U_{\text{вкл. СИ}}$	- напряжение включения сигнала исправности;
$U_{\text{уст. Ни}}$	- напряжение имитации скорости изменения высоты;
$U_{\text{уст. Ни}}$	- напряжение имитации высоты;
$U_{\text{лин.}}$	- напряжение высоты по линейному выходу;
$U_{\text{уст. Нув}}$	- напряжение имитации показаний указателя;
$U_{\text{н лин}}$	- напряжение высоты по нелинейному выходу;
$U_{\text{вых. Н}}$	- напряжение скорости изменения высоты;
ЦКА.ЦКБ	- цифровой выход изделия по высоте;
ЗС ТлфН	- низкоомный выход звукового сигнала;

ЗС ТлфВ	-	высокоомный выход звукового сигнала;
ЗС общ.	-	звуковой сигнал, вывод общий;
ИмСО	-	сигнал имитации отказов;
ЧКл	-	частота калибровки;
ПРС	-	первый разовый сигнал;
2РС	-	второй разовый сигнал;
ЗРС	-	третий разовый сигнал;
Н опас.	-	сигнал опасной высоты;
ИСПР.	-	сигнал исправности;
ПРЕДУПР.	-	сигнал предупреждения;
БЛОКИР.	-	сигнал блокировки;
РВ ГОДЕН	-	сигнал годности радиовысотомера;
ТЕСТ.	-	режим контроля радиовысотомера;
РЭ	-	работа изделия на эквивалент высоты;
РС СИНХР.	-	разовый сигнал синхронизации.

4.3. Обозначение контрольных гнезд

A1	-	общий;
A2	-	напряжение на выходе смесителя;
A4	-	напряжение на выходе второго каскада усилителя сигнала биений (УСБ);
A6	-	напряжение на выходе ограничителя;
A8	-	напряжение на выходе схемы, управляющей коэффициентом усиления второго каскада УСБ;
B1	-	напряжение на выходе генератора пилообразного напряжения;
B2, B3	-	сигнал синхронизации.

5. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

5.1. Ознакомиться с экспериментальной установкой.

5.2. Включить питание радиовысотомера и прибора КПА на щитке КПРВ-5.

5.3. Проверить работу радиовысотомера по собственной линии задержки. Для этого нужно нажать красную кнопку КОНТРОЛЬ на щитке стрелочного указателя высоты. При этом показания высотомера должны лежать в пределах 15-20 м.

5.4. Просмотреть сигнал с выхода генератора пилообразного напряжения и снять зависимость времени модуляции T_M в зависимости от высоты H $T_M = T_M(H)$. Для этого на контрольно-испытательном приборе КПА переключатель РОД РАБОТЫ поставить в положение УСТАН.Н; тумблер «РВ-УВ» – в положение «РВ»; тумблер УСТ.Н – в положение РУЧН. Осциллограф включить на внешнюю синхронизацию; сигнал синхронизации снимать с клеммы Б2 или Б3.

5.5. Не изменяя режима работы КПА, просмотреть сигнал биений на выходе ограничителя и снять зависимость длительности сигнала биений t_6 от высоты H $t_6 = t_6(H)$. Замерить частоту сигнала биений. Данные п.п. 5.4, 5.5 поместить в таблицу 5.1.

Таблица 5.1

Н, м	15	50	100	150	500	1000
T_M , мВ						
t_6 , мс						

5.6. Построить на одном графике зависимости $T_M = T_M(H)$ и $t_6 = t_6(H)$. Объяснить результаты.

5.7. В том же режиме работы установки установить на стрелочном индикаторе высоты опасную высоту перемещения желтого флажка. Изменяя высоту на КПА, убедиться, что при прохождении опасной высоты на приборе загорается соответствующая лампочка. Замерить значения фиксированных высот; моменты прохождения фиксированных высот определяются по загоранию лампочек 1РС; 2РС; 3РС.

5.8. Снять зависимость изменения управляющего напряжения U_y от высоты H $U_y = U_y(H)$ и замерить минимальное значение высоты H_{\min} , начиная с которого

меняется значение управляющего напряжения. Данные поместить в таблицу 5.2.

Таблица 5.2

H , м	15	50	100	150	500	750	1000
U_y , В							

Примечание: значение U_y замерить по осциллографу.

5.9. Определить чувствительность радиовысотомера. Для этого переключатель РОД РАБОТЫ поставить в положение «РЭ».

Определить высоту по стрелочному указателю высоты, соответствующую задержке прибора К-5. Изменяя положение аттенюатора, определить значение ослабления, при котором происходит срыв слежения за сигналом; при этом на стрелочном приборе появляется красный флажок и на КПА загорается сигнал предупреждения. По градуировочной кривой прибора определить реальную чувствительность радиовысотомера, учитывая, что значения уровня входного сигнала даны в дБ относительно одного милливатта. Принимая сопротивление антенны $R_A = 50$ Ом, рассчитать минимальный уровень входного сигнала $U_{c \min}$, при котором радиовысотомер начинает нормально работать.

5.10. Поставить тумблер УСТАН.Н в положение «АВТ». Подать на осциллограф напряжения пилы с клеммы Б1. Просмотреть изменение модулирующего напряжения при работе высотомера в режиме поиска отраженного сигнала. Зарисовать осциллограммы. Замерить период поиска. Выключить питание высотомера, подсоединить к высотомеру передающую и приемную антенны; включить питание.

5.11. Переключатель РОД РАБОТЫ поставить в положение «РЭ». Измерить время модуляции T_M . Рассчитать по измеренному значению T_M высоту до земли. Сравнить расчетные данные с показанием стрелочного индикатора.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

6.1. Объясните принцип измерения высоты, используемый в радиовысотомере РВ-20.

6.2. Поясните работу высотомера по функциональной схеме.

6.3. Назовите основные тактико-технические характеристики высотомера.

6.4. Для чего и каким образом изменяется коэффициент усилителя низкой частоты?

6.5. Запишите формулу, по которой определяется дальность в радиовысотомере РВ-20.

6.6. Объясните причину возникновения дискретности отсчета дальности. От чего зависит величина дискретности?

6.7. Возможно ли измерить дальность до нескольких целей при синусоидальном законе частотной модуляции?

6.8. Как влияет нестабильность несущей частоты высотомера на точность измерения дальности?

6.9. Будет ли сказываться движение самолета на измерение высоты?

6.10. Назовите преимущества частотного радиовысотомера перед импульсным.

6.11. Почему существуют ограничения на допустимые значения углов крена и тангажа, при которых можно пользоваться высотомером?

7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА

- 7.1. Функциональная схема экспериментальной установки.
- 7.2. Результаты работы в виде таблиц и графиков с объяснением полученных результатов, результаты расчетов.
- 7.3. Осциллограммы напряжений, полученных при выполнении работы.
- 7.4. Выводы по работе.

8. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 8.1. Казаринов Ю.М. и др. Радиотехнические системы. – Л.: Сов. радио, 1990. – 496 с.
- 8.2. Винницкий А.С. Очерк основ радиолокации при непрерывном излучении радиоволн. – М.: Сов. радио, 1961. – 345 с.
- 8.3. Денисов В.П., Дудко Б.П. Радиотехнические системы. Учебное пособие. – Томск: изд-во ТУСУР, 2006. – 253 с.

СИСТЕМЫ ПОСАДКИ САМОЛЕТОВ

ВВЕДЕНИЕ

Целью лабораторной работы является изучение принципов построения радиоэлектронных систем посадки самолетов метрового диапазона, изучение особенностей конкретных вариантов систем, измерение основных параметров одного из вариантов бортовых приемоиндикаторов и исследование влияния радиопомех на работу бортовой аппаратуры.

Лабораторная работа выполняется на одном из двух макетов, включающих бортовое оборудование систем посадки СП-50 (СП-48) или навигационно-посадочной системы «Курс-МП-2».

1. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ПОСАДКИ МЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

Посадка самолета является наиболее ответственным и сложным этапом полета, требующим очень высокой точности определения его положения относительно взлетно-посадочной полосы.

В развитии всепогодных систем управления заходом на посадку и посадкой самолетов существует два направления:

1) полная автоматизация управления с применением трех- и четырехкратного резервирования и систем встроенного контроля для повышения надежности;

2) автоматизация управления с активным участием пилота и применением наглядных систем отображения навигационной информации для совершения посадки при ручном управлении.

В настоящее время во всех странах эксплуатируются системы посадки, реализующие второй способ.

В общем случае радиоэлектронные системы посадки предназначены для провода самолета в район посадки, организации воздушного движения в районе аэродрома, а также для обеспечения приземления самолета и его движения по летному полю. Для управления самолетом при заходе на посадку используются радиомаячные либо радиолокационные системы посадки, которые должны указывать экипажу

посадочный курс, угол планирования для движения по глиссаде и расстояние до точки приземления.

Радиомаячная система посадки, называемая также системой инструментальной посадки, представляет собой комплекс радиомаяков: курсового (КРМ), глиссадного (ГРМ), маркерного (МРМ) – и бортового оборудования, обеспечивающего на самолете индикацию отклонений от заданной линии курса и глиссады и сигнализацию пролета маркерных маяков.

Поскольку радиомаячная система посадки не может обеспечить вывод самолета в район посадки, она всегда применяется с радионавигационной системой ближней навигации (типа РСБН) или техническими средствами управления воздушным движением (УВД).

В настоящее время в мировой практике гражданской авиации используются две радиомаячные посадочные системы метрового диапазона: отечественная система СП-50 и ее модификации и международная система ILS (Instrument Landing System), принципиально мало отличающиеся друг от друга.

Радиомаячная система посадки имеет сравнительно несложное бортовое приемоиндикаторное устройство и достаточно высокую пропускную способность (около 30 самолетов в час).

На отечественных пассажирских самолетах эксплуатируется бортовая навигационно-посадочная аппаратура «Курс-МП-2» (а также новые ее варианты), которая предназначена для обеспечения полетов по радиомаякам системы ближней навигации (типа VOR) и выполнения инструментальной посадки по системам СП-50 и ILS. Информация с выхода этой аппаратуры подается на указатели курса, глиссады и азимута и на систему автоматического управления полетом самолета.

Радиолокационная система посадки (РЛСП) предназначена для управления полетом самолета в зоне аэродрома, а также для контроля движения самолета по курсу и глиссаде при инструментальной посадке. При отсутствии или отказе системы инструментальной посадки радиолокационная система является основным средством посадки; в этом случае диспетчер по линии связи передает команды пилоту о корректировке полета. В

состав РЛСП входят посадочная РЛС, измеряющая азимут, угол места и дальность до высот 30–40 м, обзорно-диспетчерская РЛС и автоматический УКВ-пеленгатор, работающий по бортовому связному передатчику. Пропускная способность системы РЛСП равна 25-30 самолетов в час.

2. ВАРИАНТЫ РАДИОМАЯЧНЫХ СИСТЕМ ПОСАДКИ

Системы СП-48 и СП-50

Система посадки включает курсовой маяк (КРМ), глиссидный маяк (ГРМ), дальний маркерный маяк (ДМРМ) и ближний маркерный маяк (БМРМ), расположенные относительно взлетно-посадочной полосы (ВПП) определенным образом (рис. 1).

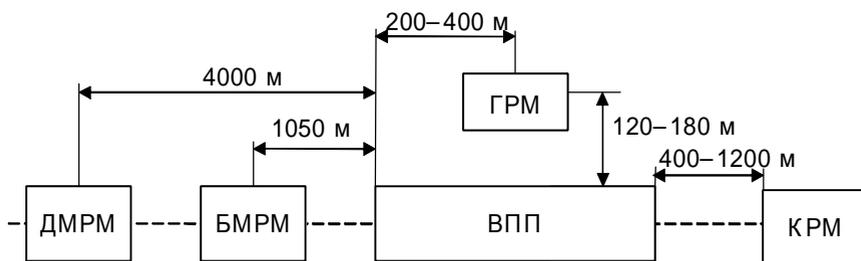


Рис. 1. Расположение радиомаяков

Курсовой радиомаяк создает по курсу посадки излучение, имеющее нулевую глубину амплитудной модуляции несущей частоты сигналом 60 Гц; отклонение от линии курса пропорционально глубине модуляции, а сторона отклонения связана с изменением фазы модулирующего сигнала относительно опорного напряжения. Поэтому маяк излучает два модулированных сигнала через антенны с тремя диаграммами направленности. Сигнал переменной фазы состоит из несущей частоты, промодулированной по амплитуде сигналом частотой 60 Гц, а сигнал опорной фазы представляет собой ту же несущую частоту, но промодулированную по амплитуде поднесущей частотой 10000 Гц, которая в свою очередь

промодулирована по частоте информативным сигналом (60 Гц) от общего опорного генератора.

Введение поднесущей частоты вызвано необходимостью разделения сигналов опорной фазы и переменной фазы на выходе бортового приемного устройства.

Форма диаграмм направленности антенн в горизонтальной плоскости представлена на рис. 2, а. Боковые узкие диаграммы направленности создаются антеннами, питаемыми балансно-модулированными колебаниями. При этом диаграммы имеют нулевой уровень излучения боковых частот сигнала по направлению заданного курса (в спектре балансно-модулированного сигнала отсутствует составляющая несущего сигнала). Центральная слабонаправленная антенна излучает дважды модулированный сигнал опорной фазы.

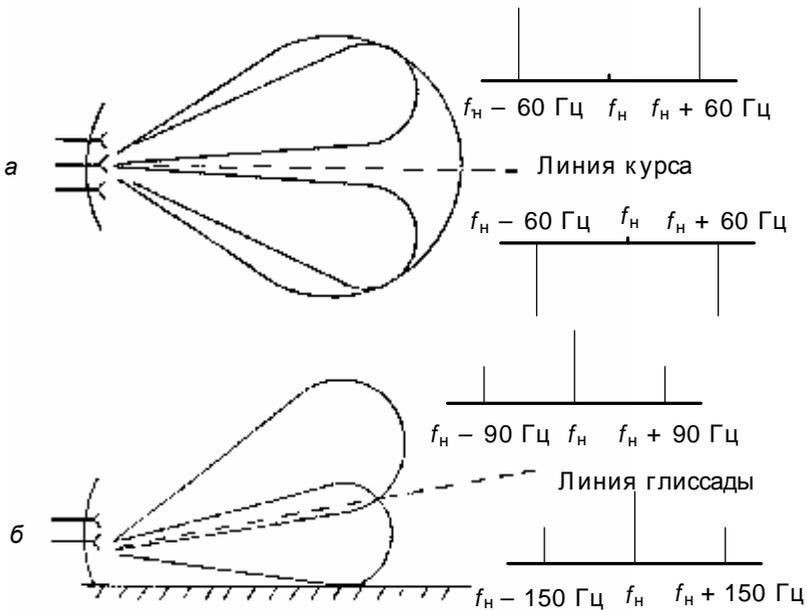


Рис. 2. Диаграммы излучения радиомаяков:
 а – курсового; б – глиссадного

Бортовой приемник (рис. 3) после детектирования несущей частоты сигнала разделяет фильтрами сигналы опорной фазы (10000 Гц) и переменной фазы (60 Гц). Затем сигнал поднесущей частоты детектируется частотным детектором и информативный сигнал частотой 60 Гц вместе с опорным сигналом поступает на фазовый детектор. Выходной сигнал, изменяющийся по уровню и знаку, подается на стрелочный прибор.

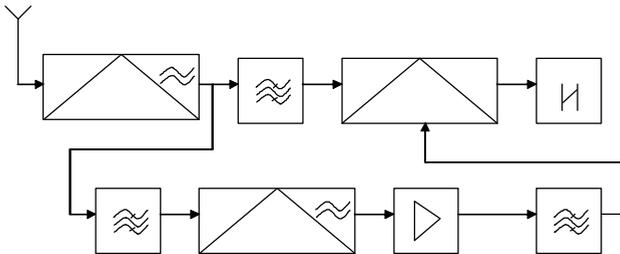


Рис. 3. Функциональная схема курсового приемника

Глиссадный радиомаяк создает по направлению снижения равносигнальное излучение, характеризующееся одинаковым уровнем модулирующих сигналов различных частот. Равносигнальное направление создается двумя антеннами, имеющими пересекающиеся диаграммы направленности; обе антенны излучают сигналы одновременно (рис. 2, б). Частота модуляции сигнала, излучаемого по верхнему лепестку, равна 90 Гц, по нижнему – 150 Гц.

Бортовой глиссадный приемник (рис. 4) после амплитудного детектирования несущего сигнала разделяет фильтрами модулирующие сигналы и после второго детектирования подает их на стрелочный индикатор с центральным нулевым положением стрелки.

Маркерные радиомаяки создают направленное излучение, перпендикулярное земной поверхности. Несущая частота всех маяков равна 75 МГц. Для лучшей помехозащищенности сигналы маяков модулируются по амплитуде низкочастотными сигналами 1300 и 400 Гц. С целью опознавания дальнего и ближнего маяков их сигналы манипулируются с различными

периодами излучения. В качестве антенны используется горизонтальный вибратор, расположенный на высоте около четверти длины волны над металлизированным участком земной поверхности.

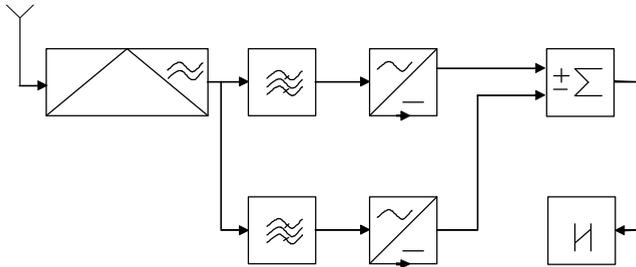


Рис. 4. Функциональная схема глассадного приемника

Бортовой маркерный приемник (рис. 5) выделяет частоты модуляции, которые через реле управляют включением сигнальных лампочек и поступают на звонок. Звуковая и световая сигнализация отражает кодовые группы манипуляции, характеризующие принадлежность сигнала определенным радиомаякам.

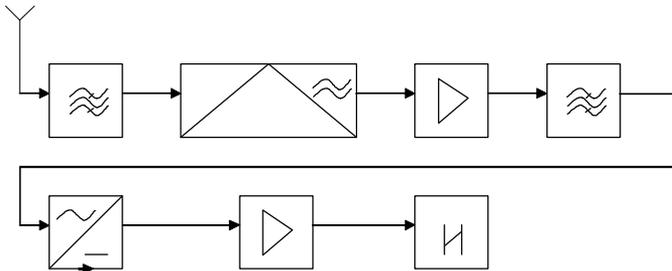


Рис. 5. Функциональная схема маркерного приемника

Система ILS

Кроме курсового и глиссадного маяков в системе ILS устанавливаются три маркерных радиомаяка: дальний маркерный маяк на расстоянии 7400 м, средний маяк на расстоянии 1050 м и ближний – на расстоянии 75 м от начала ВПП.

Курсовой радиомаяк имеет антенное устройство, создающее две пересекающиеся диаграммы направленности, излучение по которым отличается частотой модулирующего сигнала. Равносигнальный уровень совмещается с направлением курса посадки. Частота модулирующего сигнала равна 150 Гц справа от курса по направлению захода на посадку и 90 Гц слева. Применена амплитудная модуляция несущей.

Глиссадный радиомаяк имеет такой же принцип создания радиозоны, как и курсовой. По верхнему лепестку диаграммы направленности излучается амплитудно-модулированный сигнал с частотой 90 Гц, по нижнему – 150 Гц. Полная диаграмма направленности антенного устройства из-за влияния отражений от земной поверхности имеет многолепестковый характер. Направление глиссады совпадает с равносигнальным направлением по двум нижним лепесткам.

Маркерные радиомаяки работают на несущей частоте 75 МГц. Диаграммы направленности антенн и структурные схемы маяков подобны маякам системы СП-50. Несущие частоты маяков модулируются сигналами звуковых частот в следующем порядке: дальний маяк – 400 Гц, средний – 1300 Гц, ближний – 3000 Гц. Кроме этого сигналы маяков манипулируются следующим образом: дальний маяк – непрерывная последовательность тире, средний – непрерывная последовательность чередующихся точек и тире, ближний – непрерывная последовательность точек (тире передается два раза в секунду, точка – шесть раз).

Приемные устройства курсового и глиссадного каналов построены по одинаковым схемам и содержат вибраторную антенну, супергетеродинный приемник с двойным преобразованием частоты, амплитудный детектор, разделительные фильтры на 150 и 90 Гц и схему сравнения с

выходом на гальванометр с центральным нулевым положением стрелки. Маркерный радиоприемник также собран по супергетеродинной схеме. После демодуляции сигнал разделяется тремя полосовыми низкочастотными фильтрами и подается на различные сигнальные лампочки, общий звонок и головные телефоны.

Бортовая аппаратура «Курс-МП-2»

Приведенные на рис. 3–5 функциональные схемы отображают бортовую аппаратуру современной системы посадки. Отечественная аппаратура, носящая название «Курс-МП» или «Курс-МП-2», работает по сигналам радиомаяков как системы ILS, так и системы СП. Кроме посадки аппаратура «Курс-МП» позволяет решать ряд других навигационных задач, таких как оценка местоположения по сигналам международной системы ближней навигации VOR/DME и совершение предпосадочных маневров.

Курсовой приемник работает по горизонтально-поляризованному полю маяков в диапазоне 108–112 МГц, глассадный приемник – по горизонтально-поляризованному полю маяков в диапазоне 329,3–335,0 МГц. В указанных диапазонах рабочих частот располагается 200 каналов в курсовом приемнике с интервалом между ними 50 кГц и 20 каналов в глассадном с интервалом 300 кГц.

Подробные функциональные схемы приемных устройств приведены на рис. 6, 7, 8.

Система ближней навигации и посадки РСБН-2

Радиотехническая система ближней навигации позволяет определять местоположение самолета относительно ее наземных радиомаяков. Кроме этого она обеспечивает инструментальную посадку самолетов. В режиме посадки бортовая аппаратура использует сигналы курсового и глассадного маяков системы РСБН-2 (шифр «Катет»). Система работает в диапазоне частот около 1,0 ГГц и имеет дальность действия, определяемую расстоянием прямой видимости (до

500 км). Используется принцип задания направления движения путем формирования двух пересекающихся диаграмм излучения, отличающихся частотами модулирующих сигналов.

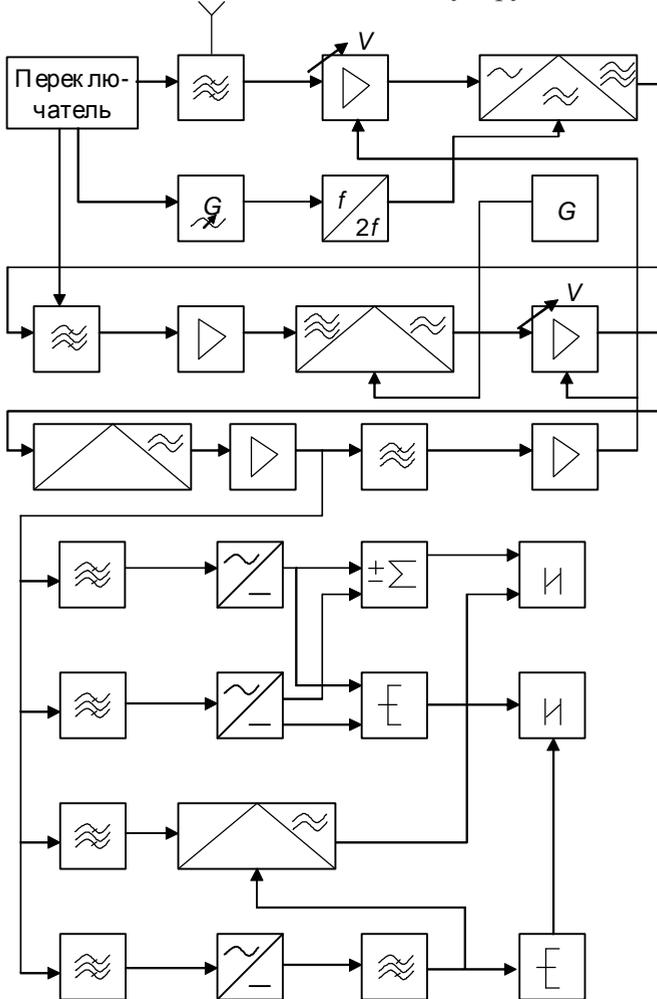


Рис. 6. Подробная функциональная схема курсового приемника

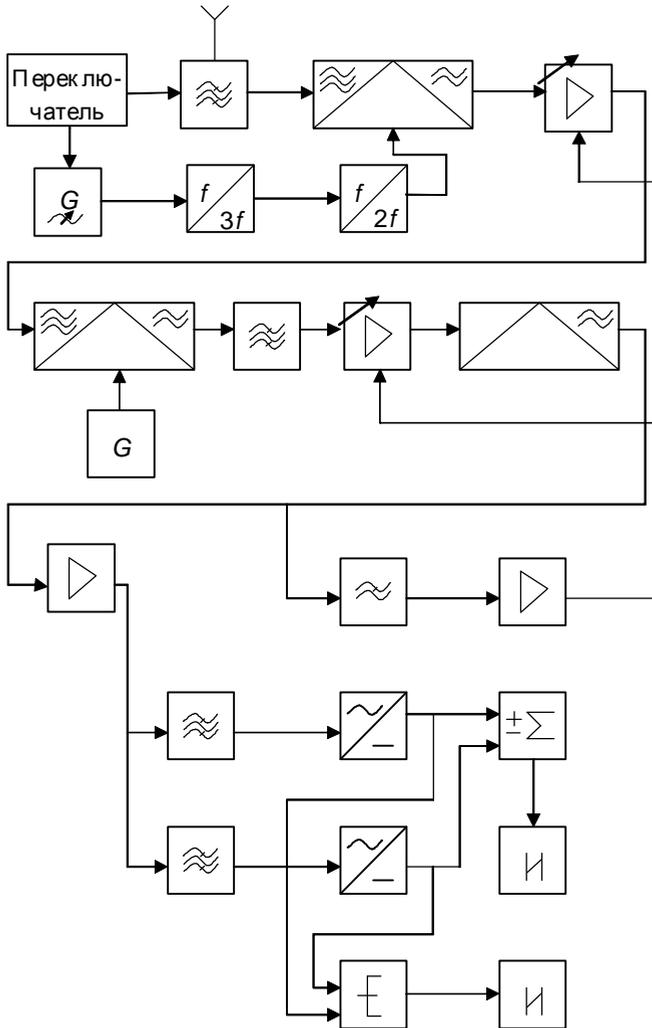


Рис. 7. Подробная функциональная схема глассадного приемника

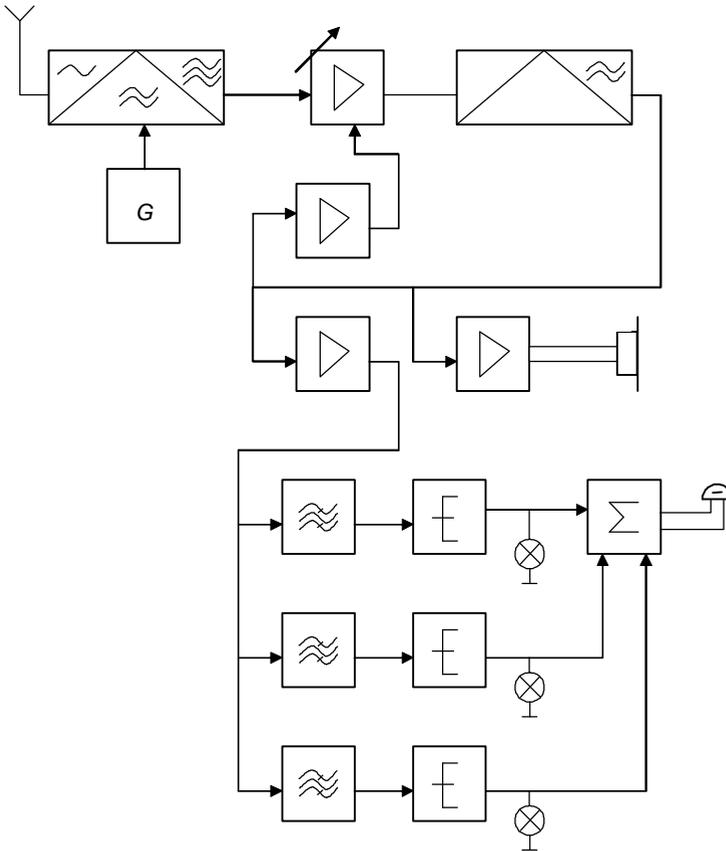


Рис. 8. Подробная функциональная схема маркерного приемника

Излучаемые сигналы модулируются напряжением прямоугольной формы (манипулируются) с частотами заполнения 1300 и 2100 Гц. Структурные схемы каналов курса и глиссады аналогичны, отличаются только диаграммы направленности антенн и несущие частоты. В отличие от систем посадки СП-50 и ILS здесь применено не одновременное излучение двух сигналов, а поочередное излучение через одну и другую антенну с частотой коммутации 12,5 Гц. Курсовой маяк работает на частотах азимутального канала системы РСБН, глиссадный маяк – на частотах дальномерного канала.

В качестве приемника сигналов курсового и глиссидного радиомаяков используются приемники соответственно азимутального и дальномерного каналов системы ближней навигации РСБН; приемники выдают различную информацию в режимах работы «Посадка», «Азимут» и др. Принцип выделения сигналов рассогласования по курсу и глиссаде аналогичен принципу, заложенному в системе ILS.

3. ИМИТАТОРЫ РАДИОМАЯКОВ

Имитатор маркерного маяка системы СП-50

Имитатор предназначен для проверки маркерного приемника, установленного на самолете. В состав имитатора входит:

- 1) перестраиваемый диапазонный автогенератор (диапазон $f = 70\text{--}80$ МГц);
- 2) кварцевый генератор ($f = 75$ МГц);
- 3) модулятор ($f = 3000$ Гц);
- 4) манипулятор ($f_m = 6$ Гц).

Излучаемый имитатором высокочастотный сигнал модулирован по амплитуде напряжением частоты 3000 Гц.

Антенна имитатора может подключаться к кварцевому генератору или к диапазонному генератору. При работе от диапазонного генератора сигнал может излучаться непрерывно (переключатель рода работ в положении «НЕПР») или прерывисто (переключатель в положении «ТЧК»).

Имитатор глиссидного маяка системы СП-50

Имитатор глиссидного радиомаяка предназначен для проверки глиссидного радиоприемника, установленного на самолете. Он излучает высокочастотный сигнал, имитирующий сигнал глиссидного радиомаяка. В состав имитатора входит:

- 1) генератор высокой частоты с тремя фиксированными частотами;
- 2) генератор модулирующей частоты 90 Гц;
- 3) генератор модулирующей частоты 150 Гц;

4) смеситель модулирующих частот.

Напряжения частот 90 и 150 Гц подаются на сумматор модуляционных частот. Напряжение, снимаемое с выхода сумматора, подается на генератор высокой частоты, модулируя высокую частоту по амплитуде. Проверка самолетной аппаратуры может производиться путем приема сигналов от имитатора, установленного на расстоянии 10–15 м от самолета, или путем непосредственного подключения входа приемника соединительным кабелем.

В качестве передающей антенны используется четвертьволновой вертикальный вибратор.

Имитатор курсового маяка системы СП-50

Имитатор фазового курсового радиомаяка предназначен для проверки курсового приемника, установленного на самолете. Он излучает высокочастотный сигнал, имитирующий сигнал фазового курсового маяка.

Излучаемый высокочастотный сигнал модулирован по амплитуде двумя напряжениями:

- 1) напряжением частоты 60 Гц;
- 2) напряжением частоты 10 кГц, которое в свою очередь модулировано по частоте напряжением 60 Гц с девиацией $\pm 1,2$ кГц.

Фаза напряжения частоты 60 Гц, модулирующего несущую частоту, изменяется на 180° относительно фазы напряжения частоты 60 Гц, модулирующего по частоте поднесущую частоту 10 кГц.

Имитатор работает на шести фиксированных частотах (генератор с кварцевой стабилизацией): 108,5; 108,7; 109,3; 109,5; 109,9 МГц.

Имитатор обеспечивает при установке его на расстоянии около 15 м от самолета полное отклонение стрелки индикатора приемника, установленного на самолете.

В качестве антенны используется горизонтальный симметричный вибратор общей длиной 600 мм.

Функциональная схема имитатора фазового курсового радиомаяка содержит (рис. 9):

- 1) генератор несущей частоты с шестью фиксированными частотами;
- 2) генератор поднесущей частоты 10 кГц;
- 3) генератор модулирующей частоты 60 Гц;
- 4) фазовращательное устройство;
- 5) сумматор.

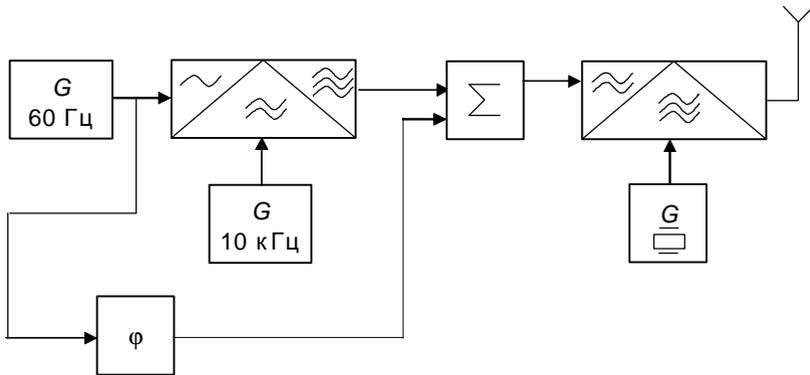


Рис. 9. Функциональная схема имитатора курсового радиомаяка

Опорное напряжение частоты 60 Гц подается на частотный модулятор, где модулирует поднесущую частоту 10 кГц с девиацией $\pm 1,2$ кГц. Так создается опорное напряжение. Частотно-модулированное напряжение подается на сумматор.

Одновременно с этим на сумматор через фазовращательное устройство, выполненное на сельсине, подается напряжение частоты 60 Гц, чем имитируется основной сигнал.

Напряжение основного сигнала частоты 60 Гц, модулирующее несущую частоту, может с помощью фазовращателя изменять фазу на 180° относительно опорного напряжения частоты 60 Гц.

Частотно-модулированное напряжение (10 кГц), содержащее опорное напряжение частоты 60 Гц, и основной сигнал частоты 60 Гц с сумматора подаются на модулятор, в котором осуществляется амплитудная модуляция колебаний несущей частоты.

При помощи фазовращательного устройства напряжение частоты 60 Гц изменяется по амплитуде и при переходе

амплитуды через нуль меняет фазу на 180° . Это осуществляется за счет включения одной обмотки статора сельсина в анодную цепь генератора частоты 60 Гц, в результате чего в сельсине получается магнитное поле, постоянное по направлению. При изменении положения ротора в выходной обмотке последнего возникает ЭДС с плавно меняющейся амплитудой и фазой, меняющейся на 180° при переходе амплитуды через нуль. Этим достигается имитация изменения курса самолета в зоне действия маяка.

Высокочастотный сигнал имитатора принимается курсовым самолетным приемником, в котором после всех преобразований опорное напряжение 60 Гц и напряжение частоты основного сигнала 60 Гц раздельно подаются на фазовый детектор.

Имитатор сигналов системы ILS

Прибор имитирует работу курсового и глиссадного радиомаяков системы посадки самолета. Имитатор предназначен для проверки работоспособности курсового и глиссадного приемников системы «Курс-МП» на всех фиксированных частотах рабочего диапазона, а также для проверки угловой чувствительности и электрического баланса приемников на одной фиксированной частоте (109,9 МГц для имитатора курса и 332,6 МГц для имитатора глиссады).

В состав имитатора входит:

- 1) блок высокой частоты курса;
- 2) блок высокой частоты глиссады;
- 3) модулометр;
- 4) блок низкой частоты и питания.

Несущая частота в блоках высокой частоты, полученная путем умножения частоты кварцевого задающего генератора, модулируется напряжением низкой частоты 90 и 150 Гц. Эти модулирующие напряжения вырабатываются в блоке низкой частоты. Имитация положения самолета по отношению к линии курса и глиссады в зоне действия маяка достигается изменением глубины модуляции несущей. При этом можно имитировать нахождение самолета на линии курса или глиссады при равенстве амплитуд напряжений модуляции 90 и 150 Гц и

отклонении самолета влево-вправо от линии курса или вверх-вниз от линии глиссады при превышении амплитуды одной из модулирующих частот над другой. Величина глубины модуляции несущей частоты контролируется специальным измерителем глубины модуляции.

Проверка работоспособности приемника на всех фиксированных частотах рабочего диапазона производится при подключении к оконечному каскаду высокой частоты специального каскада, вырабатывающего напряжение качающейся частоты. При этом излучается спектр частот в диапазоне 108,1–111,9 МГц, когда работает имитатор курса, и 329,6–385,0 МГц, когда работает имитатор глиссады.

4. ВЛИЯНИЕ РАДИОПОМЕХ НА РАБОТУ БОРТОВЫХ РАДИОПРИЕМНИКОВ

Радиопомехами для глиссадных приемников систем СП-50 и ILS и курсового приемника системы ILS могут являться немодулированные и модулированные сигналы с частотами, отличающимися от несущих частот сигналов радиомаяков на 150 или 90 Гц. В этом случае положение стрелки индикатора будет определяться соотношением амплитуд и фаз полезного модулирующего сигнала и помехи с частотой биений несущих сигнала маяка и помехи. Если соотношение фаз этих сигналов изменяется во времени, то стрелка индикатора совершает колебания относительно правильного положения.

Помехой будет также сигнал, имеющий примерно одинаковую несущую частоту, промодулированную одной из частот 90 или 150 Гц.

Аналогичным образом могут влиять на работу курсового канала системы СП-50 сигналы сторонних источников; отличие частот должно составлять 60 Гц. Кроме этого, помеху создают сигналы, отличающиеся по частоте на 10 кГц; такие сигналы влияют на работу канала опорного напряжения. Подавление слабого сигнала сильной помехой в частотном детекторе опорного канала приведет к искажению формы опорного

напряжения и падению его величины на фазовом детекторе. Угловая чувствительность по курсу может резко упасть.

На работу маркерного приемника могут влиять сигналы с частотой около 75 МГц. Однако низкая чувствительность приемника и двойная модуляция сигнала в значительной степени уменьшают вероятность появления помехи в маркерном канале.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Поясните работу глissадного радиомаяка. Составьте функциональную схему.

2. Поясните работу курсового маяка. Составьте функциональную схему.

3. Поясните работу маркерного радиомаяка. Составьте функциональную схему.

4. Укажите отличия систем посадки СП-50 и ILS.

5. Объясните отличие диаграмм направленности антенн курсовых и глissадных радиомаяков.

6. Каков характер сигналов на выходе и входе амплитудного детектора курсового приемника?

7. Укажите виды радиопомех, которые будут действовать на глissадный и курсовой радиоприемники.

8. Поясните поведение стрелки указателя глissады в случае, когда на выходе одного из фильтров низкой частоты будет напряжение помехи, точно совпадающее по частоте с сигналом и отличное по фазе (когерентные помехи).

6. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная работа выполняется на установке, изготовленной на базе бортовой аппаратуры «Курс-МП» (рис. 10).

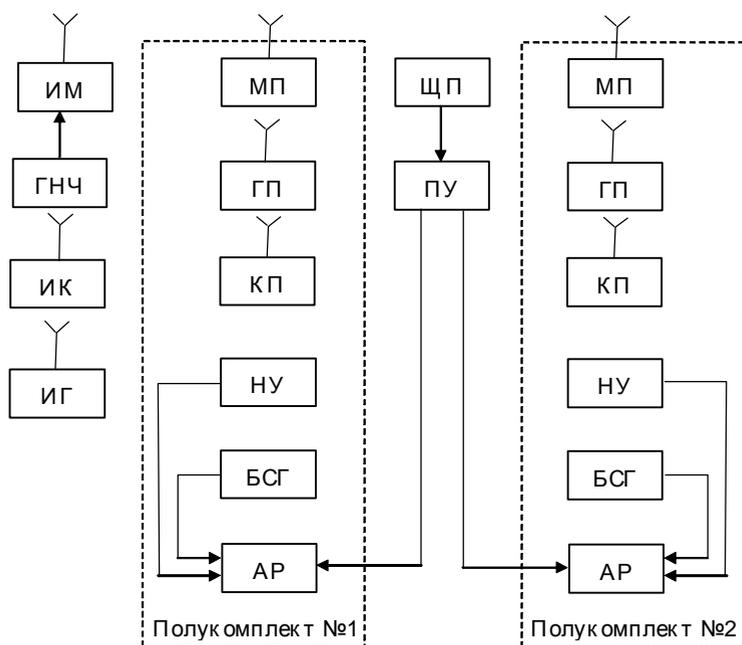


Рис. 10. Схема лабораторной установки

В лабораторную установку входят два полукомплекта аппаратуры «Курс-МП», имитаторы сигналов радиомаяков, лабораторный стенд, маркерный радиомаяк с блоком дистанционного управления, осциллограф С1-68, вольтметр В7-20.

На схеме лабораторной установки введены следующие обозначения:

- АР – амортизационная рама с распределительной коробкой;
- БСГ – блок сигналов готовности;
- ГНЧ – генератор низких частот;
- ГП – глассадный приемник;
- ИГ – имитатор сигналов глассадного маяка;
- ИК – имитатор сигналов курсового маяка;
- ИМ – имитатор маркерного маяка, в качестве которого используется генератор сигналов ГЗ-19А;
- КП – курсовой приемник;
- МП – маркерный приемник;

НУ – навигационное устройство;

ПУ – пульт управления;

ЩП – щиток питания.

В макете предусмотрена замена всех трех имитаторов сигналов маяков комбинированным прибором МИМ-70 (малогабаритный имитатор маяков).

На рис. 11 представлено расположение аппаратуры на лабораторной установке.

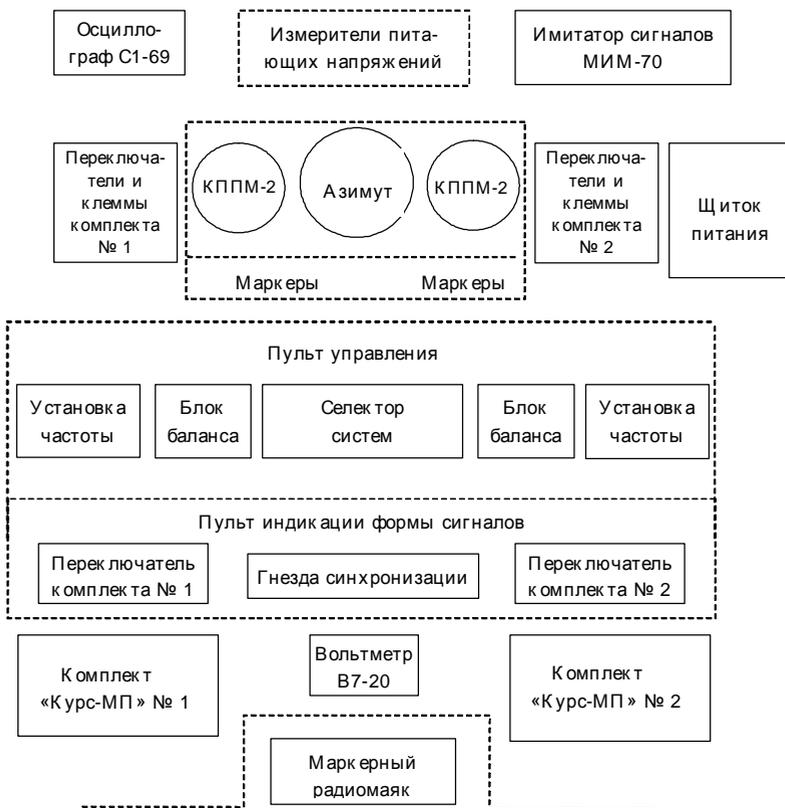


Рис. 11. Расположение аппаратуры на лабораторной установке

На пульте управления расположены вольтметры, измеряющие напряжение сетей питания 115 В и 27 В, комбинированные пилотажные приборы КППМ-2, лампочки маркерных радиоприемников, блок баланса и контроля нуля, блоки управления настройкой приемников, селектор систем. Щиток питания имеет тумблеры включения питания 115 В 400 Гц, 220 В 50 Гц и 27 В, индикаторные лампочки и предохранители.

Здесь же размещены гнезда для подключения осциллографа и два галетных переключателя входов осциллографа. Галетные переключатели позволяют подключать осциллограф к различным точкам приемников; при этом положения переключателей соответствуют следующим участкам их схем:

1 – сигнал с выхода амплитудного детектора курсового приемника;

2 – сигнал переменной фазы (со входа фазового детектора);

3 – опорный сигнал курсового приемника (с выхода частотного детектора);

4 – сигнал с выхода амплитудного детектора глissадного приемника;

5 – сигнал с выхода амплитудного детектора маркерного приемника.

Имитатор МИМ-70 предназначен для проверки бортового оборудования систем СП-50, ILS и VOR по эфиру или по кабелю и имеет следующие режимы работы: СПК, СПГ, М400, М130, М3000, ILSL, ILSG, VOR. Каждый из режимов позволяет выбрать необходимый сигнал от различных маяков. Прибор также имеет переключатель дискретных отклонений самолета от линии курса (глissады). Имитатор может работать на нескольких фиксированных частотах: курсовой канал – от 108,1 до 111,9 МГц, глissадный – от 331,1 до 334,7 МГц, маркерный – 75 МГц. Имеется возможность задавать затухание выходного сигнала от 0 до 100 дБ.

В состав установки включен действующий образец современного маркерного маяка.

7. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Начальные установки прибора МИМ-70

Переключатель «Затухание» в положении «20 дБ».
Переключатель режима работы в положении «СПК».
Переключатель «Мегагерцы» в положении «111,3».
Переключатель «Отклонение» в положении «ТОЧНО».
Тумблер питания «27 – ОТКЛ» в положении «ОТКЛ».
Тумблер «1020 – МАНИПУЛ» в положении «МАНИПУЛ».

Начальные установки стенда

Переключатель «Частота, МГц» в положении «111,3» (устанавливается двумя переключателями).
Переключатель «ILS – СП-50» в положении «СП-50».
Переключатель «МАРКЕР» в положении «ПОСАДКА».
Переключатель «VOR – ILS – СП-50» в положении «СОВМЕСТНО».
Переключатель «СИСТЕМЫ» в положении «КОМПЛЕКТ № 1».
Переключатель «ОСЦИЛЛОГРАММЫ» в положении «1».

Измерения в режиме «СП-50»

1. Включить питание шестью тумблерами, а также прибор МИМ-70 тумблером «27-ОТКЛ» в положение «27».

2. Снять осциллограммы в контрольных точках. Для этого необходимо выполнить следующие действия.

Переключатель «РЕЖИМ РАБОТЫ» установить в положение «СПК». Зарисовать осциллограммы в положениях 1,2,3 галетного переключателя при трех положениях ручки «ОТКЛОНЕНИЕ» прибора МИМ-70 (равносигнальное направление «0», максимальное отклонение по курсу «вправо» и «влево»).

Переключатель «РЕЖИМ РАБОТЫ» установить в положение «СПГ». Зарисовать осциллограммы в положении 4 переключателя для трех значений параметров глиссады (точно

4. Снять характеристику угловой чувствительности по глиссаде. Переключатель режимов работы МИМ-70 установить в положение «СПГ». Отклонение от глиссады задавать переключателем «ОТКЛОНЕНИЕ» прибора МИМ-70 сначала вверх, затем вниз. Показания снимать с помощью вольтметра В7-20 для первого и второго комплектов. Для этого соединительные провода прибора подключить к гнездам «ГЛИСС» комплекта № 1, а переключатель «Г» поставить в нижнее положение. Снять результаты, переключатель «ГЛИСС» комплекта № 1 установить в верхнее положение. То же самое проделать для второго комплекта. Результаты представить в виде табл. 2.

Построить график угловой чувствительности.

Таблица 2

Измеренные значения напряжения для определения угловой чувствительности по глиссаде

Положение переключателя «ОТКЛОНЕНИЕ»	Вверх							Вниз								
	7	6	5	4	3	2	1	Круг	0	Круг	1	2	3	4	5	6
Комплект № 1																
Комплект № 2																

5. Измерить чувствительность курсового канала в режиме «ПОСАДКА».

Ручку «РЕЖИМ РАБОТЫ» прибора МИМ-70 установить в положение «СПГ». Уровень входного сигнала задавать attenuатором «ЗАТУХАНИЕ». Контролировать прохождение сигнала по открыванию курсовых бленкеров на панели комбинированных пилотажных приборов стенда. Записать значение чувствительности первого и второго комплектов (см. примечание).

6. Измерить чувствительность глиссадного канала в режиме «ПОСАДКА».

Ручку «РЕЖИМ РАБОТЫ» прибора МИМ-70 установить в положение «СПГ». Уровень входного сигнала задавать attenuатором «ЗАТУХАНИЕ». Контролировать прохождение

сигнала по открыванию глиссадных бленкеров на панели комбинированных пилотажных приборов стенда. Записать значение чувствительности первого и второго комплектов (см. примечание).

7. Измерить чувствительность маркерного канала в режиме «МАРШРУТ» и «ПОСАДКА».

Ручку «РЕЖИМ РАБОТЫ» прибора МИМ-70 установить в положение «М400». Уровень входного сигнала задавать аттенуатором «ЗАТУХАНИЕ». Контролировать прохождение сигналов по гашению контрольных лампочек на панели комбинированных пилотажных приборов стенда. Записать чувствительность первого и второго комплектов.

8. Пункт 7 проделать для модулирующих частот 1300 Гц и 3000 Гц. Для этого ручку «РЕЖИМ РАБОТЫ» переводить в положения «М1300» и «М3000».

Примечание. Чувствительность приемников из относительных единиц (децибелы) пересчитать в микровольты, учитывая, что калиброванный уровень выходного сигнала имитатора (0 дБ) на сопротивлении 50 Ом составляет:

- а) для курсового канала 3,5 мВт;
- б) для глиссадного канала 3 мВт;
- в) для маркерного канала 25 мВт.

Измерения в режиме «ILS»

1. Переключить аппаратуру в режим «ILS». Для этого поставить переключатель «ILS – СП-50» в положение «ILS».

2. Снять осциллограммы в контрольных точках. Порядок действий при этом следующий.

Переключатель «РЕЖИМ РАБОТЫ» установить в положение «ILSL». Зарисовать осциллограммы в положении 1 галетного переключателя при трех положениях ручки «ОТКЛОНЕНИЕ» прибора МИМ-70 (равносигнальное направление «0», максимальное отклонение по курсу «вправо» и «влево»).

Переключатель «РЕЖИМ РАБОТЫ» установить в положение «ILSG». Зарисовать осциллограммы в положении 4 галетного переключателя для трех значений параметров

глиссады (точно по глиссаде «0, максимальное отклонение от глиссады «выше» и «ниже»).

3. Снять характеристику угловой чувствительности по курсу и по глиссаде.

Порядок действий аналогичен описанному в режиме «СП-50», за исключением того, что в режиме «Курс» положение переключателя «РЕЖИМ РАБОТЫ» установить в положение «ILSL», а в режиме «Глиссада» – «ILSG».

Построить графики угловой чувствительности по курсу и глиссаде.

4. Выключить макет.

8. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Введение – показать состав научной (технической) проблемы, возникающей при построении систем посадки самолетов.

Описание лабораторной установки, методики эксперимента – привести функциональную схему лабораторной установки, изложить метод измерения, используемый в данной работе.

Результаты работы и их анализ – последовательно изложить содержание выполняемой работы, результаты работы и их анализ.

Представить следующие результаты экспериментов: осциллограммы напряжений в контрольных точках, снятые в режиме «СП-50»; характеристики угловой чувствительности по курсу для двух комплектов (табл. 1 и графики, построенные по табл. 1 для двух комплектов на одном рисунке); характеристики угловой чувствительности по глиссаде для двух комплектов (табл. 2 и графики, построенные по табл. 2 для двух комплектов на одном рисунке); чувствительность курсового канала в режиме «ПОСАДКА» для двух комплектов; чувствительность глиссадного канала в режиме «ПОСАДКА» для двух комплектов; чувствительность маркерного канала в режимах «МАРШРУТ» и «ПОСАДКА» для двух комплектов на трех модулирующих частотах; осциллограммы напряжений в

контрольных точках, снятые в режиме «ILS»; чувствительность по курсу и глиссаде в режиме «ILS».

Выводы – привести анализ ценности полученных результатов, трактовку полученных результатов, сравнение с теоретическими значениями, определение возможных причин расхождения теоретических и практических результатов.

9. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- 9.1. Белавин О.В. Основы радионавигации. – М.: Сов. радио, 1977.
- 9.2. Дудко Б.П. Радионавигация: Учеб. пособие. – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2003.
- 9.3. Бондарчук И.Е. Летная эксплуатация радионавигационного оборудования самолетов. – Иркутск: Транспорт, 1978.
- 9.4. Софронов Н.А. Радиооборудование самолетов. – М.: Машиностроение, 1978.
- 9.5. Сосновский А.А. Авиационная радионавигация: Справочник / А.А. Сосновский, И.А. Хаймович. – М.: Транспорт, 1980.

САМОЛЕТНЫЕ АВТОМАТИЧЕСКИЕ РАДИОКОМПАСЫ

ВВЕДЕНИЕ

Целью лабораторной работы является изучение принципов построения автоматических самолетных радиоконпасов (радиопеленгаторов), служащих для позиционного метода местоопределения в ближней навигации.

Приводится описание (на уровне структурных схем и тактико-технических характеристик) нескольких образцов радиоконпасов, рассматриваются особенности конкретных схем и конструкций.

Работа выполняется на испытательном стенде, оборудованном серийными радиоконпасами АРК-5, АРК-11 и АРК-15, которые работают в штатных режимах.

1. МЕСТООПРЕДЕЛЕНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАДИОКОМПАСОВ

Автоматический радиоконпас является радиопеленгационным устройством, служащим для определения направления на излучающую радиостанцию. Это направление характеризуется углом между линией, принятой за начало отсчета, и линией, соединяющей радиопеленгатор с радиостанцией.

При пеленговании в горизонтальной плоскости за начало отсчета обычно принимается истинное направление на север, т.е. направление географического меридиана. Тогда пеленг, отсчитанный по часовой стрелки в пределах 0–360 градусов, будет называться истинным пеленгом радиостанции (ИПР). На борту самолета пеленг отсчитывается относительно продольной оси самолета, т.е. от линии курса, и называется курсовым углом радиостанции (КУР). Угол между направлением продольной оси самолета и направлением на север называется истинным курсом (ИК) и измеряется магнитным, гиромагнитным или индукционным компасом. Введенные углы (рис. 1) связаны между собой выражением

$$\text{ИПР} = \text{КУР} + \text{ИК}.$$

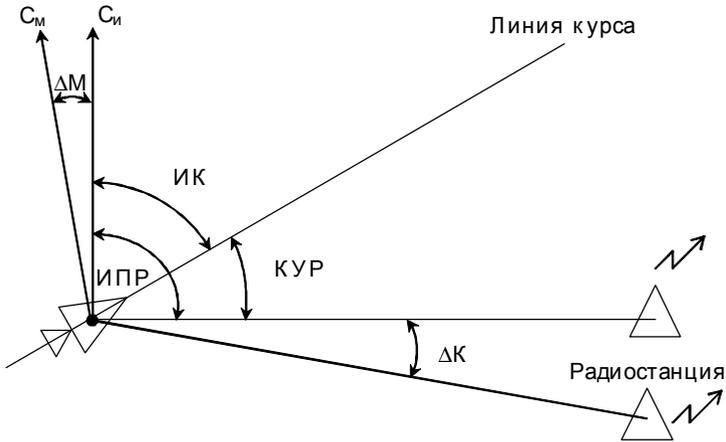


Рис. 1. Схема углов, характеризующих положение самолета

Как правило, они измеряются с погрешностями. Угол КУР имеет погрешность ΔK , обусловленную влиянием переотраженных частями самолета сигналов (радиодевияция); угол ИК может иметь погрешность из-за магнитного склонения ΔM (см. рис. 1; здесь ΔM – отличие направлений на истинный север C_n и магнитный север C_m).

Измерение курсового угла одной радиостанции позволяет найти одну линию положения самолета при местоопределении. Линией положения будет являться прямая, направленная из точки с известным местоположением (от радиостанции) на самолет, место которого не известно. Эта линия при отсчете угла от направления на север определяет истинный пеленг самолета (ИПС), который рассчитывается следующим образом:

$$\text{ИПС} = \text{ИПР} + 180^\circ + \delta,$$

где δ – поправка на схождение меридианов в пространственно разнесенных точках.

Место самолета определяется перенесением двух линий положения для углов ИПС_1 и ИПС_2 , рассчитанных для двух радиостанций (рис. 2).

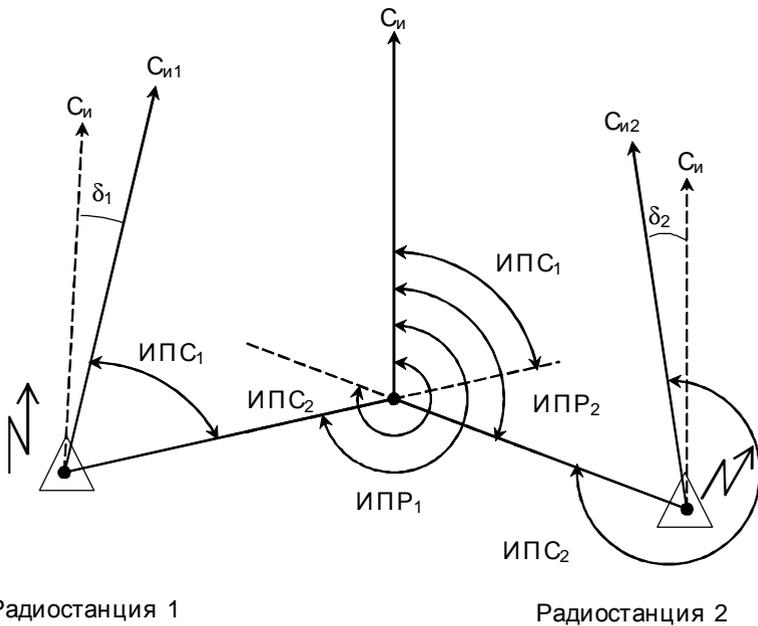


Рис. 2. Схема определения места самолета

2. РЕЖИМЫ РАБОТЫ РАДИОКОМПАСОВ

На основе определения курсового угла радиостанции автоматический радиокompас (совместно с другими навигационными средствами общего назначения) обеспечивает выполнение кроме основной задачи – местоопределения, еще ряда других задач самолетовождения, таких как полет от радиостанции в заданном направлении или в направлении на радиостанцию; определение момента пролета над радиостанцией или ее траверза; выполнение пробивания облачности и захода на посадку; прием информации, передаваемой по частотным каналам приводных радиостанций, и др. Выполнение перечисленных задач производится при работе радиокompасов в различных режимах.

Автоматические радиокompасы всех типов по назначению, устройству и принципу работы аналогичны друг другу и различаются только технической реализацией.

Радиокомпас представляет собой радиоприемное устройство с направленной и ненаправленной антеннами, системой автоматического управления направленной антенной и системой передачи азимутального положения этой антенны на указатели курсового угла.

Любой радиокомпас может работать в следующих режимах:

- 1) «АНТЕННА»;
- 2) «РАМКА»;
- 3) «КОМПАС».

Режим работы «АНТЕННА»

В режиме «АНТЕННА» радиокомпас работает как обычный радиоприемник амплитудно-модулированных сигналов. Режим предназначен для настройки компаса на частоту нужной станции.

Радиоприемник выполняется по супергетеродинной схеме с одним или двумя преобразованиями частоты. Если приемник предназначен для приема на слух телеграфных тонально немодулированных сигналов, то в нем предусматривается еще один гетеродин, который создает колебания, отличающиеся по частоте от колебаний промежуточной частоты на величину около 1 кГц. Этот тон звуковой частоты прослушивается, естественно, только в моменты присутствия передаваемого сигнала в виде знаков азбуки Морзе.

Обязательным элементом приемника является схема автоматической регулировки усиления, стабилизирующая уровень выходного сигнала.

Режим работы «РАМКА»

Режим «РАМКА» предназначен для обеспечения неавтоматического пеленгования радиостанций по минимуму приема их сигналов. Этот режим используется при отказе автоматической части компаса и при работе в условиях сильных помех радиоприему. Радиокомпас работает как радиоприемник с направленной рамочной антенной, управляемой вручную.

Система передачи положения рамки на индикаторы положения не выключается.

В качестве направленной рамочной антенны используется магнитная антенна, представляющая собой ферромагнитный сердечник прямоугольного сечения с намотанными на нем витками провода. Каждый виток провода является рамкой, все витки соединены последовательно.

Рассмотрим процесс приема радиоволн одним витком прямоугольной рамки, предполагая, что на вертикально расположенную рамку действует вертикально поляризованная электромагнитная волна (рис. 3). В вертикальных проводниках рамки наводятся электродвижущие силы (ЭДС) \bar{e}_1 и \bar{e}_2 , выходной сигнал рамки определяется их разностью:

$$\bar{e}_p = \bar{e}_2 - \bar{e}_1.$$

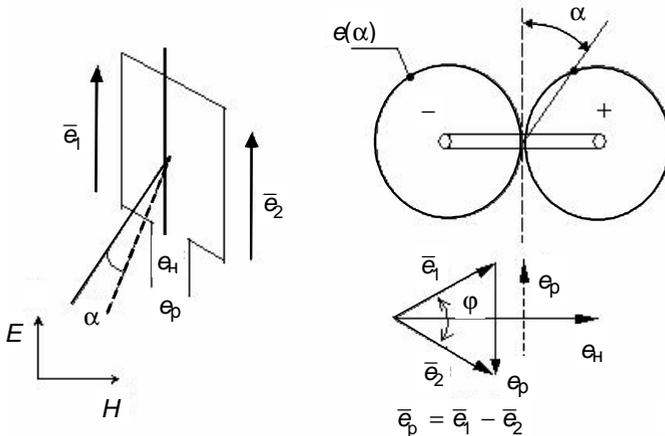


Рис. 3. Рамочная антенна (а) и ее диаграмма направленности (б)

Рассмотрим векторную диаграмму сигналов (рис. 3,б). Модули сигналов \bar{e}_1 и \bar{e}_2 практически равны, так как размеры рамки много меньше расстояния до источника сигналов, а фазы будут определяться расстояниями от источника до вертикальных проводников рамки. Разность фаз ϕ определяется разностью указанных расстояний. В результате сигнал на

выходе рамки определяется величиной φ , т.е. углом прихода сигналов относительно плоскости рамки или относительно нормали к ней (α). Заметим, что фаза выходного сигнала меняется скачком на 180° при отклонениях влево и вправо относительно направления нулевого значения разности фаз φ . При этом \bar{e}_1 и \bar{e}_2 на векторной диаграмме меняются местами, т.е. то \bar{e}_1 , то \bar{e}_2 оказываются ближе к источнику сигналов. На диаграмме направленности $e(\alpha)$ этот эффект отражен знаками «+» и «-». Нормированная диаграмма направленности рамочной антенны как функция модуля выходной ЭДС от угла прихода в полярных координатах представляется в виде $e(\alpha) = \sin \alpha$. На рис. 3,а изображена также ненаправленная штыревая антенна с ЭДС на выходе e_n .

В режиме «РАМКА» в радиокompасе работают следующие элементы: направленная антенна, приемник, схема ручного дистанционного управления (вращения) рамки, схема передачи углового положения рамки на индикаторы.

Пеленгование радиостанции производится путем определения направления приема нулевого сигнала по показаниям индикатора угла и индикатора уровня сигнала (или телефона). Двухзначность полученного направления (см. рис. 3,б) исключают использованием априорной или дополнительной информации. Эта информация может быть получена путем повторного пеленгования той же станции через некоторый интервал времени и совместной обработки результатов двух пеленгований.

Режим работы «КОМПАС»

В режиме «КОМПАС» радиокompас работает как автоматический пеленгатор радиостанций. Пеленгование радиостанций путем приема их сигналов на рамочную направленную антенну приводит к двухзначности определения КУР. Для получения однозначности в режиме «КОМПАС» осуществляется одновременный прием на рамку и на ненаправленную антенну. Выходной сигнал ненаправленной антенны остается неизменным по амплитуде и фазе при любых

углах прихода радиоволны в горизонтальной плоскости, что позволяет использовать такую антенну в качестве источника опорного сигнала. Путем сравнения фазы сигнала рамки с фазой опорного сигнала удастся определить направление, в котором нужно вращать рамку, чтобы привести ее в положение нулевого приема.

На векторной диаграмме сигналов с рамочной и ненаправленной антенн (см. рис. 3) видно, что эти сигналы сдвинуты по фазе на 90° . Аналитические выражения для сигналов имеют вид:

$$e_p(t) = E_{0p} \sin \alpha \sin(\omega t + 90^\circ);$$

$$e_n(t) = E_{0n} \sin \omega t.$$

Сигнал $e_p(t)$ сдвигается по фазе на 90° и складывается с сигналом $e_n(t)$. При выравнивании амплитуд $E_{0p} = E_{0n} = E_0$ суммарный сигнал принимает вид

$$e_\Sigma(t) = E_0(1 + \sin \alpha) \sin \omega t.$$

Диаграмма направленности такой комбинированной антенны имеет форму кардиоиды (рис. 4,а). Очевидно, что при изменении фазы сигнала одной из антенн на противоположную ориентация кардиоиды в пространстве изменится на 180° (рис. 4,б), и уровень выходного сигнала для угла прихода α изменится.

Структурная схема радиокompаса приведена на рис. 5, а временные диаграммы напряжений в указанных точках структурной схемы изображены на рис. 6. На последнем рисунке представлены формы напряжений для трех угловых положений источника сигнала относительно направления, перпендикулярного плоскости рамки: слева, на перпендикуляре, справа.

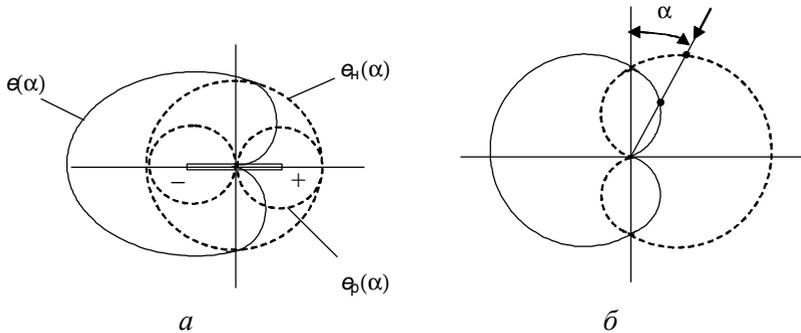


Рис. 4. Диаграмма направленности комбинированной антенны:
a – образование диаграммы направленности в виде кардиоиды;
б – переключение диаграммы

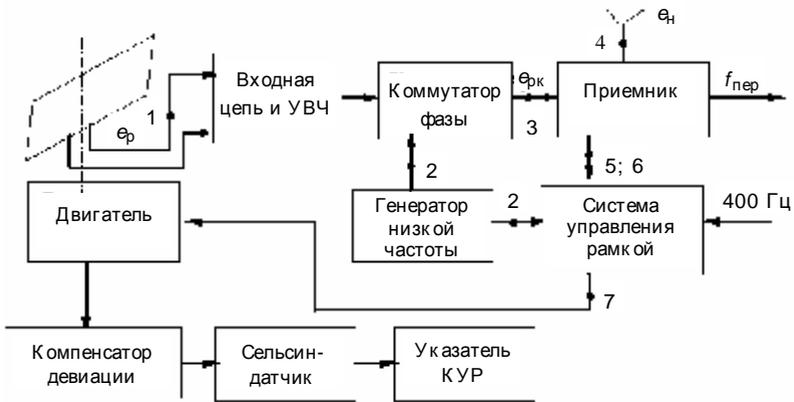


Рис. 5. Структурная схема типового автоматического радиоконпаса

Напряжение с выхода рамки e_p , у которого фаза зависит от направления отклонения нормали к рамке от направления на радиостанцию, после выделения из множества входных сигналов и усиления поступает на коммутатор фазы сигнала рамки. Коммутатор управляется сигналом частотой 30–135 Гц от генератора и изменяет фазу сигнала на противоположную

(сдвиг на 180°) на одной половине периода низкочастотного сигнала, оставляя фазу неизменной на другой (см. рис. 6). Коммутированное напряжение рамки e_{pk} и напряжение ненаправленной антенны e_n складываются на входе приемника, в результате чего получается напряжение той же частоты, но амплитудно-манипулированное с частотой коммутирующего сигнала. При этом фаза огибающей, в зависимости от фазы напряжения рамки, совпадает или противоположна фазе напряжения генератора низкой частоты. Следовательно, фазовые соотношения высокочастотных сигналов, несущие информацию о стороне отклонения рамки, оказались перенесенными на низкочастотный сигнал.

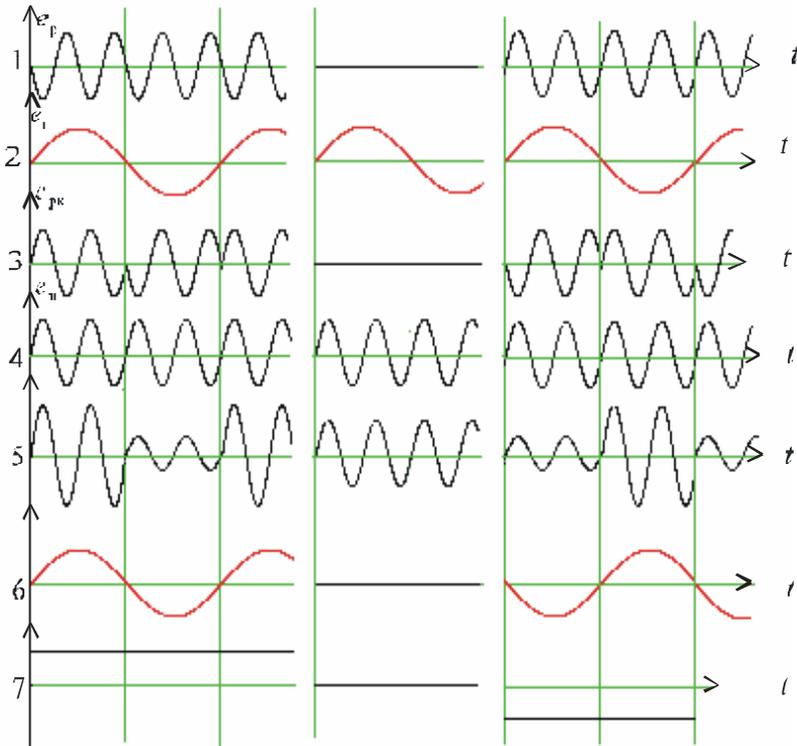


Рис. 6. Временные диаграммы напряжений в основных цепях схемы радиоконпаса

Манипулированный сигнал проходит через приемник обычным образом, а затем из него выделяется огибающая и передается в систему автоматического управления рамкой. Здесь на фазовый детектор подается опорный низкочастотный сигнал и огибающая. Положительное или отрицательное напряжение с выхода детектора приводит к вращению двигателя рамки в соответствующую сторону до равносигнального направления, когда при переключении направления кардиоиды в пространстве изменения уровня сигнала (манипуляции сигнала) не будет. При этом фазовые соотношения на входе детектора и соответственно полярность постоянного напряжения для двигателя выполняются для правой и левой полуплоскостей (или секторов углов 0–180 и 180–360 градусов). Тем самым устраняется двузначность равносигнального направления; автомат сам выбирает одно из двух направлений при любом угле α .

Угловое положение рамочной антенны, точнее угловое положение направления нулевого приема, передается на индикатор угла следящей системой, в качестве которой используется обычно сельсинная передача. В состав сельсинной передачи входят два сельсина, один из которых называется датчиком, другой приемником (рис. 7). Построение сельсинов одинаковое – каждый из них является трехфазной электрической машиной, имеющей ротор и статор. Трехфазные статорные обмотки сельсинов соединены между собой по схеме «звезда без нулевого привода». Однофазные роторные обмотки соединены параллельно и запитываются от внешнего источника.

Система работает таким образом, что она находится в устойчивом состоянии только при одинаковых угловых положениях обоих роторов относительно статоров. Любой поворот ротора одного из сельсинов обрабатывается вторым.

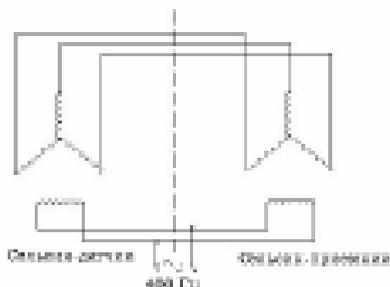


Рис. 7. Схема сельсинной индикаторной системы

Погрешности радиоконпасов

Ошибки пеленгования вызываются инструментальной погрешностью и особенностями распространения радиоволн. Последние имеют обычно большую величину и связаны с непрямолинейным распространением и наличием переотраженных сигналов. Непрямолинейное распространение появляется из-за пространственных изменений коэффициента преломления атмосферы (горизонтальная рефракция) и пространственных изменений скорости распространения радиоволн (эффект «береговой рефракции»). Эти ошибки могут доходить до единиц градусов.

Наличие переотраженных (вторичных) сигналов приводит к появлению больших ошибок. Вторичные сигналы могут образовываться за счет отражения от неровностей земной поверхности при небольших высотах полета (горный эффект) и за счет отражений от ионосферы при работе радиостанции в диапазоне средних и коротких волн. Однако наибольшую ошибку создают вторичные сигналы, отраженные от конструкций самолета. Эта ошибка называется ошибкой радиодевииации.

Из-за симметричности конструкции самолета ошибка радиодевииации при изменении направления прихода радиоволны в пределах от 0 до 360 градусов периодически увеличивается и уменьшается, при этом четырежды становится равной нулю. Угловое и временное положение ошибок девиации практически не изменяется, что позволяет измерять их и

использовать в качестве поправок к измеренным значениям пеленга. В некоторых радиокompасах внесение поправок или компенсация ошибок предусматриваются в схеме и конструкции устройства.

3. ОСОБЕННОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ РАДИОКОМПАСОВ

Радиокompас АРК-5

Автоматический радиокompас АРК-5 по назначению и принципу работы полностью аналогичен рассмотренному выше типовому варианту.

Основные характеристики компаса следующие:

- 1) дальность действия при пеленговании источника мощностью 500 Вт на высоте 5000 м до 200 км;
- 2) погрешность пеленгования не более $\pm 3^\circ$;
- 3) диапазон рабочих частот 150–1300 кГц;
- 4) чувствительность приемника не хуже 10–12 мкВ;
- 5) потребляемая электроэнергия: 27 В 1 А (3,5 А); 115 В 400 Гц 1,4 А;
- 6) вес 32 кг.

В комплект радиокompаса входят блок рамочной антенны, приемник, щиток управления и один или два сельсинных указателя курсовых углов. Дистанционная настройка приемника производится со щитка управления гибким валом, переключение диапазонов – электромеханической системой.

Рассмотрим структурную схему автоматического радиокompаса АРК-5 (рис. 8). В состав блока рамочной антенны входят: антенна, электродвигатель с редуктором, сельсин-датчик системы дистанционной передачи угла поворота рамки и компенсатор радиодeviации. Компенсатор deviации автоматически учитывает величины ошибок пеленгования в показаниях сельсина-датчика. Обеспечивается это механической системой, которая позволяет в некоторых пределах изменять коэффициент передачи между положением рамки и положением

ротора сельсина-датчика. Система допускает подстройку под конкретный экземпляр самолета.

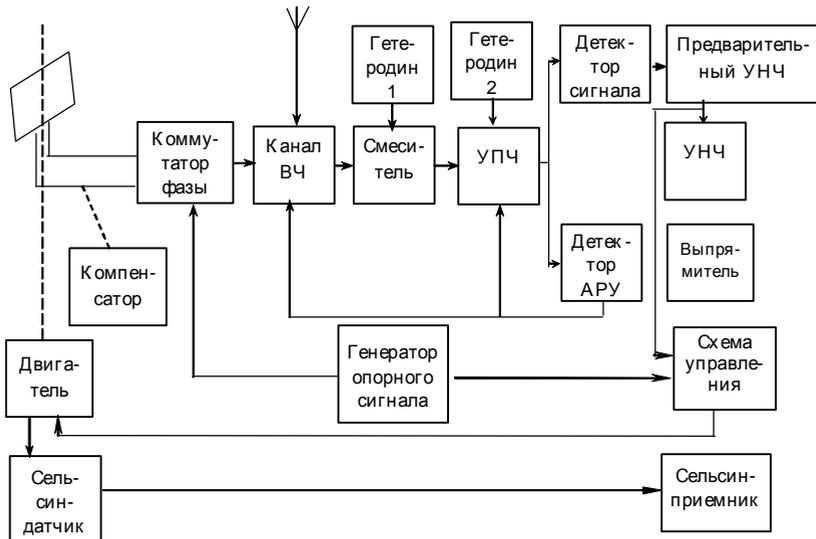


Рис. 8. Структурная схема АРК-5

Блок приемника состоит из супергетеродинного приемника, компасной части и выпрямителя. Коммутатор фазы представляет собой два управляемых усилителя, работающих в противофазе на общую нагрузку. Сигнал с антенны подается на эти усилители в фазе, управляющий сигнал – в противофазе. В каждый момент времени работает только один усилитель (другой в это время заперт отрицательным значением управляющего напряжения); тем самым фаза выходного сигнала определяется фазой (знаком) управляющего напряжения. Канал высокой частоты содержит селективные цепи и двухкаскадный усилитель. Остальные элементы приемника особенностей не имеют. Второй гетеродин служит для прослушивания тонально не модулированных сигналов.

На щитке управления расположены органы управления и контроля, среди которых ручка настройки на частоту радиостанции, переключатель диапазонов, шкала настройки, регулятор громкости звучания телефонов, переключатель

режимов работы, тумблер включения вращения рамки влево-вправо, стрелочный индикатор настройки, показывающий величину выходного сигнала приемника, и выключатель второго гетеродина.

Радиокомпас АРК-9

Компас АРК-9 предназначен для использования на легких транспортных самолетах и вертолетах. Он обеспечивает решение всех навигационных задач аналогично типовым радиокомпасам. В радиокомпасе АРК-9 используется незначительное число (всего 7) радиоламп, и широко применены полупроводниковые диоды и триоды.

Основные характеристики компаса:

- 1) дальность действия при пеленговании источника мощностью 500 Вт на высоте 1000 м 150–180 км;
- 2) диапазон рабочих частот 150–1300 кГц;
- 3) потребляемая электроэнергия: 27 В 2 А и 115 В 400 Гц 1 А.

В комплект радиокомпаса входят: приемник, блок рамочной антенны, блок питания, пульт управления, ненастроенный антенный блок, ненаправленная антенна, до трех указателей курсовых углов и дистанционный переключатель волн. Структурная схема радиокомпаса приведена на рис. 9.

Приемник радиокомпаса состоит из собственно приемника с телефонным и компасным выходами, а также включает в себя компасную часть. Ненастроенный антенный блок представляет собой однокаскадный ламповый УВЧ и предназначен для предварительного усиления сигналов с ненаправленной антенны. В качестве сигнала второго гетеродина при приеме тонально не модулированных телеграфных сигналов используется сигнал от источника питания частотой 800 Гц (вторая гармоника напряжения бортовой сети). Блок рамочной антенны включает в себя рамочную антенну, двигатель вращения рамки, сельсин-датчик, компенсатор радиодeviации и тахогенератор системы демпфирования (гашения) колебаний ротора электродвигателя.

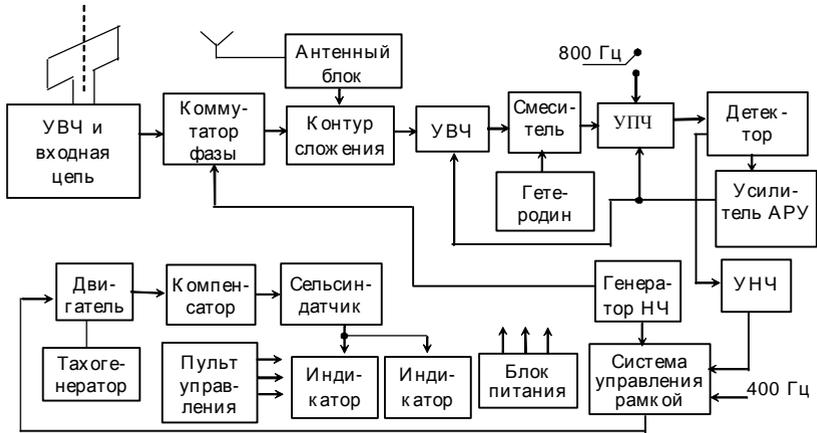


Рис. 9. Структурная схема радиоконпаса АРК-9

Блок питания состоит из трансформаторов и выпрямителей, выдающих переменные и постоянные токи различных напряжений.

Пульт управления обеспечивает дистанционное управление радиоконпасом в процессе его настройки и в режиме основной работы. Среди органов управления следующие: переключатель режимов, тумблер включения вращения рамки влево или вправо, регулятор громкости, переключатель режимов работы «ТЕЛЕФОН» – «ТЕЛЕГРАФ», элементы настройки и переключения диапазонов и стрелочный индикатор выходного сигнала.

Радиоконпас АРК-9 можно предварительно настроить на любые две частоты (канала) его рабочего диапазона, после чего каждая из настроенных частот включается установкой в соответствующее положение дистанционного переключателя волн. Для настройки каждого канала (канал Б и канал Д) имеются две ручки декадной настройки и ручка точной настройки. С помощью одной ручки переключаются частотные поддиапазоны, а также устанавливаются сотни килогерц частоты. Другая ручка декадной настройки предназначена для установки десятков и единиц герц частоты. Переключение диапазонов и настройка производится электромеханической системой.

Радиокомпас АРК-10

Радиокомпас АРК-10 предназначен для решения всех типовых задач, подобно другим радиокомпасам. Кроме этого он обеспечивает непрерывное определение расстояния до пеленгуемого радиопередатчика. В радиокомпасе используется незначительное число радиоламп и широко применены полупроводниковые диоды и триоды.

Основные характеристики компаса:

- 1) дальность действия при пеленговании передатчика мощностью 500 Вт на высоте 5000 м около 220 км;
- 2) диапазон рабочих частот 120–1340 кГц;
- 3) количество предварительно настроенных частот 9;
- 4) чувствительность приемника не хуже 10–12 мкВ;
- 5) потребляемая электроэнергия: 27 В 1,5 А и 115 В 400 Гц 1 А;

6) вес 28 кг.

В комплект радиокомпаса входят:

- 1) блок направленной антенны;
- 2) усилитель сигнала рамки;
- 3) коммутатор фазы (балансный модулятор);
- 4) ненаправленная антенна;
- 5) контур сложения;
- 6) приемник;
- 7) управляющая схема;
- 8) звуковой генератор;
- 9) двигатель вращения рамки;
- 10) система дистанционной передачи угла поворота рамки (сельсинная система и индикатор курса);
- 11) счетно-решающий прибор и индикатор измерения дальности.

Рассмотрим структурную схему радиокомпаса (рис. 10). Как видно из рисунка, схема незначительно отличается от схем других компасов. В приемнике применено двойное преобразование частоты, что улучшает избирательность приемника. Для приема тонально немодулированных сигналов используется отдельный гетеродин.

скорости и косинусу курсового угла, поступает в блок дальности на интегрирующий двигатель, имеющий ту особенность, что его частота вращения прямо пропорциональна величине питающего напряжения. Таким образом, число оборотов двигателя за временной промежуток пропорционально пройденному самолетом расстоянию в направлении на радиостанцию или от нее.

Покажем принцип работы системы измерения дальности (рис. 11). Пеленгуемая радиостанция располагается в точке O , самолет в начальный момент счисления – в точке A , начальное расстояние OA должно быть известно. При перемещении самолета в точку B происходит увеличение дальности на величину CB (предполагается, что $OA=OC$). Отрезок CB рассчитывается как произведение $AB \cdot \cos \varphi = AB \cdot \cos(\text{КУР})$ в косинусном трансформаторе. Система позволяет измерять дальность при полете по любому криволинейному маршруту, однако приемлемая точность (около 5%) обеспечивается только в областях значений курсовых углов, отличающихся от 0 или 180° не более чем на $\pm 30^\circ$.

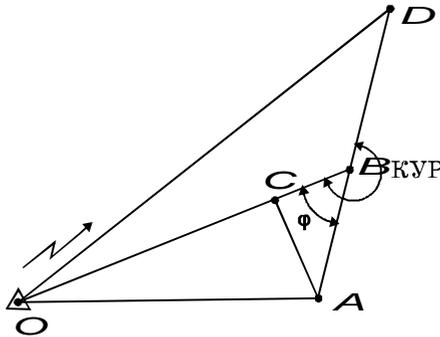


Рис. 11. Принцип определения дальности

Радиокомпас АРК-11

Радиокомпас АРК-11 предназначен для решения всех типовых задач. Как и компас АРК-10, он обеспечивает:

- 1) возможность предварительной настройки на любые девять частот его рабочего диапазона с их фиксацией, после чего каждая из этих частот может быть включена нажатием кнопки с соответствующим номером на пульте управления;
- 2) настройку на любую частоту его диапазона без фиксации этой частоты и без нарушения предварительной настройки;
- 3) высокую точность установки частоты настройки и ее стабильность, что исключает необходимость периодических подстроек радиокомпаса во время работы в полете.

Радиокомпас имеет особенности:

- 1) в схеме предусмотрены эффективные меры защиты от помех, а именно узкая полоса пропускания приемника и возможность использования режима «КОМПАС II»;
- 2) используется ограниченное число радиоламп, и широко применены полупроводниковые диоды и триоды;
- 3) прибор имеет электродистанционную систему управления работой и настройкой.

Основные характеристики компаса:

- 1) дальность действия при пеленговании передатчика мощностью 500 Вт на высоте 5000 м 220 км;
- 2) диапазон рабочих частот 120–1340 кГц;
- 3) количество предварительно настроенных частот 9;
- 4) чувствительность приемника не хуже 10–12 мкВ;
- 5) потребляемая электроэнергия: 27 В 1,5 А и 115 В 400 Гц 1 А;

- б) вес 28 кг.

В комплект радиокомпаса входят:

- 1) блок направленных антенн (2 рамки);
- 2) усилители сигналов рамок;
- 3) коммутаторы фазы (балансные модуляторы);
- 4) контуры сложения;
- 5) приемник;
- 6) управляющая схема;
- 7) звуковой генератор;

- 8) двигатель вращения рамок;
- 9) система дистанционной передачи угла поворота рамок;
- 10) ненаправленная антенна.

Структурная схема радиокompаса АРК-11 аналогична схеме компаса АРК-10 (см. рис. 10) за исключением блока измерения дальности и индикаторов дальности. Кроме этого в компасе АРК-11 предусмотрен режим работы «КОМПАС II», для реализации которого в схему введена еще одна направленная антенна (рамка). Эта вторая рамка аналогична основной и конструктивно объединена с ней. Расположена вторая рамка перпендикулярно основной, в результате блок направленных антенн имеет диаграмму направленности, изображенную на рис. 12.

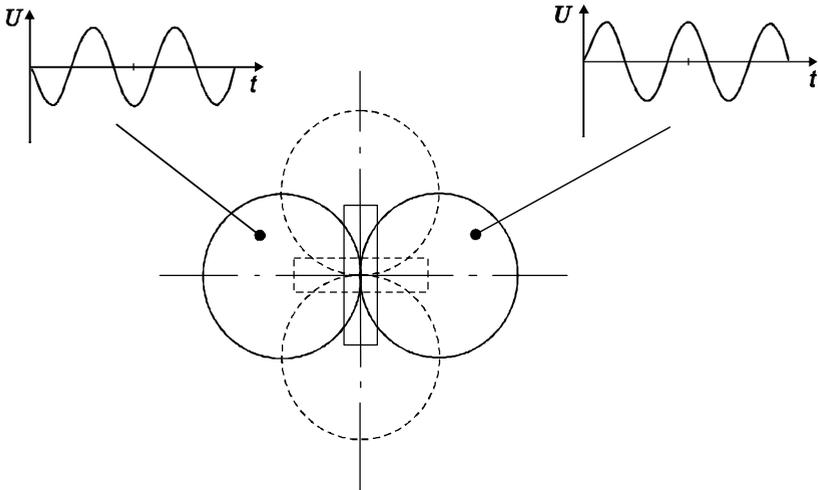


Рис. 12. Диаграмма направленности антенн радиокompаса АРК-11

Компас имеет режимы работы «АНТЕННА», «КОМПАС I», «КОМПАС II» и «РАМКА». Дополнительный режим «КОМПАС II» предназначен для улучшения помехозащищенности радиокompаса. В этом режиме осуществляется автоматическое пеленгование радиостанций, однако взамен ненаправленной антенны подключается вторая

рамочная антенна. Помехоустойчивость при этом увеличивается за счет того, что направленная антенна в среднем имеет меньший выходной сигнал от помех, приходящих со всех направлений, чем ненаправленная. Кроме этого, рамочная магнитная антенна практически не принимает электрическую составляющую поля. При этом электростатические помехи, возникающие за счет стекания статического заряда с обшивки самолета в окружающее пространство, не попадают на вход приемника.

С другой стороны, отсутствие ненаправленной антенны в режиме «КОМПАС II» приводит к появлению двузначного пеленгования радиостанций, поскольку фаза опорного сигнала теперь также изменяется при отклонении угла прихода радиоволны вправо или влево от направления нулевого приема. Отличие пеленгов одной и той же станции составляет 180° , оба положения антенны при автоматическом пеленговании оказываются устойчивыми. Устранение двузначности пеленгования достигается переключением компаса в режим «КОМПАС I».

В других режимах радиокompас АРК-11 работает как типовой.

Приемник радиокompаса выполнен по схеме с двойным преобразованием частоты, имеет АРУ с задержкой, а также третий гетеродин, предназначенный для приема на слух тонально не модулированных сигналов. Предусмотрена работа с широкой и узкой полосой пропускания частот, для чего часть каскадов УПЧ имеет широкую, а часть узкую полосу. При включении широкой полосы каскады с узкой полосой отключаются.

Частота коммутации фазы составляет 30 Гц. Для обеспечения стабильности частоты настройки приемника приняты меры по стабилизации частоты первого и второго гетеродинов. В частности, элементы первого гетеродина помещены в термостат, питаемый от бортовой сети самолета, а частота второго гетеродина стабилизируется кварцевым резонатором.

Радиокомпас имеет систему дистанционного управления и настройки с органами управления, расположенными на пульте радиокомпаса.

Ручка переключателя «ДИАПАЗОН» предназначена для переключения частотных поддиапазонов в восемь фиксированных положений, каждое из которых помечено начальной частотой данного поддиапазона в килогерцах. Дистанционное управление переключателем обеспечивает электромеханическая система. Поворотная шкала частот имеет деления от 0 до 160 кГц и используется в каждом из поддиапазонов. Частота настройки радиокомпаса устанавливается как сумма показаний шкалы ручки «ДИАПАЗОН» и шкалы частот. Предварительная настройка на выбранные частоты производится также электромеханической системой; запомненные частоты включаются кнопками. Кроме этого на пульте установлена ручка регулировки громкости, ручка включения телеграфного режима, переключатель полосы частот, ручка включения вращения рамки влево-вправо и некоторые другие органы управления.

Радиокомпас АРК-15

Компас АРК-15 решает все типовые задачи, но отличается от других компасов тем, что он выполнен на уровне современных технических возможностей и требований практики.

Положительные отличия радиокомпаса АРК-15 заключаются в следующем:

1) повышенная надежность за счет отсутствия электронных ламп и отсутствия в системе дистанционного управления компасом электромеханических элементов;

2) настройка компаса по частоте, в том числе и предварительная, производится с помощью переключателей без подстройки по индикатору, что значительно увеличивает оперативность;

3) в нем применена неподвижная рамочная антенна, т.е. исключены механические элементы подвижного типа, что повышает безотказность компаса.

Радиокомпас АРК-15 предназначен для установки на самолетах и вертолетах различных типов, в связи с чем предусмотрен ряд вариантов его комплектации.

Основные характеристики компаса:

1) дальность действия при пеленговании передатчика мощностью 500 Вт на высоте полета 1000 м и 10000 м равна 180 км и 340 км соответственно;

2) диапазон рабочих частот 150–1799,5 кГц;

3) количество фиксированных рабочих частот 3300; интервал между соседними рабочими частотами 0,5 кГц;

4) время переключения частот системой настройки 4 с;

5) точность индикации курсового угла при полете к радиостанции не хуже $\pm 2^\circ$;

6) потребляемая электроэнергия: 27 В 2 А и 36 В 400 Гц 1 А.

В комплект радиокомпаса входят:

1) приемный блок, включающий в себя собственно приемник с одним преобразованием частоты и системой дистанционного управления и компасную часть, в том числе гониометр;

2) пульт управления, выпускаемый в двух вариантах. Основной пульт обеспечивает одновременную настройку компаса на его любые две рабочие частоты, каждая из которых может быть включена с помощью переключателя на два положения. Упрощенный пульт управления используется вместе с пультом предварительной настройки и обеспечивает включение одной из четырех частот, настроенных с пульта;

3) рамочная антенна, представляющая собой плоский ферромагнитный прямоугольный сердечник, на котором имеются две обмотки. Плоскости витков этих обмоток взаимно перпендикулярны, что создает две восьмерочные диаграммы в горизонтальной плоскости, сдвинутые на угол 90° . Свойство такой антенны определять угол прихода радиоволны проявляется только при соединении ее с гониометром, расположенным в блоке приемника;

4) антенное согласующее устройство, предназначенное для согласования ненаправленной антенны с кабелем входа приемника;

5) указатели курсовых углов (сельсинного или синус-косинусного типа).

Радиокомпас АРК-15 рассчитан на работу в двух режимах: «АНТЕННА» и «КОМПАС» (рис. 13).

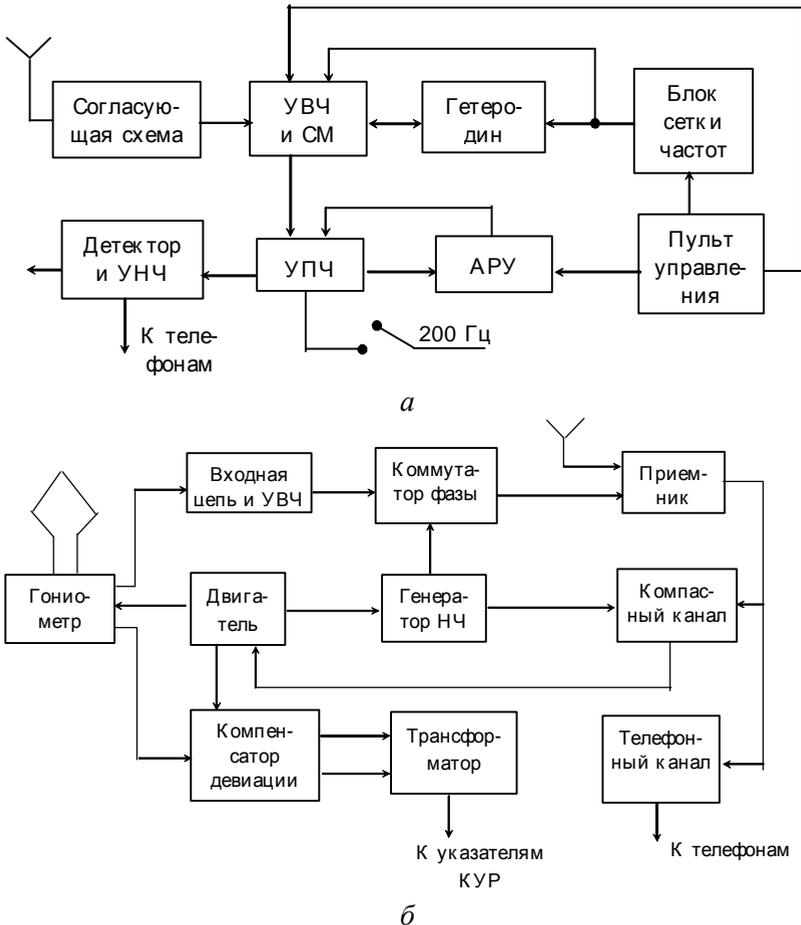


Рис. 13. Структурная схема радиокомаса АРК-15:
а – режим «АНТЕННА»; б – режим «КОМПАС»

В режиме «АНТЕННА» компас работает как супергетеродинный приемник амплитудно-модулированных сигналов с одним преобразованием частоты. Особенностью схемы является применение в УПЧ электромеханических фильтров, а в УВЧ фильтра сосредоточенной селекции, что улучшает избирательность приемника. Другой особенностью является отсутствие в системе настройки частоты электромеханических элементов. Для обеспечения настройки применяются варикапы, управляемые напряжением.

Блок сетки частот обеспечивает получение постоянного управляющего напряжения, величину которого можно изменять степенями и тем самым изменять степенями емкости варикапов и перестраивать колебательные контуры высокочастотного тракта приемника.

Высокочастотный тракт имеет пять поддиапазонов, каждому из которых соответствует отдельный модуль. Конкретный модуль включается путем подачи на него питающего напряжения.

Для обеспечения стабильности настройки частота гетеродина стабилизируется кварцевым резонатором. Чтобы получить колебания 3300 стабилизированных частот, применен синтезатор частот.

Для приема тонально не модулированных сигналов используется сигнал от выпрямителя частотой 800 Гц.

В режиме «КОМПАС» схема имеет следующую особенность. В качестве направленной антенны используется неповоротная антенна в виде двух обмоток (двух рамочных антенн), расположенных взаимно перпендикулярно, в сочетании с гониометром (рис. 14). Гониометр состоит из трех катушек, две из которых неподвижны, расположены своими осями симметрии взаимно перпендикулярно в горизонтальной плоскости, а третья катушка расположена внутри их и может вращаться в этой же плоскости электродвигателем, питающимся от компасного выхода приемника. Каждая неподвижная катушка подключена к одной из рамочных антенн. Напряженность магнитного поля в каждой неподвижной катушке гониометра определяется напряжением с выхода соответствующей части витков рамочной антенны и оказывается

пропорциональной синусу угла прихода радиоволны относительно нормали к плоскости витков. Из-за сдвига двух частей рамки по углу на 90° магнитные поля пропорциональны $\sin \alpha$ и $\sin(90^\circ + \alpha) = \cos \alpha$.

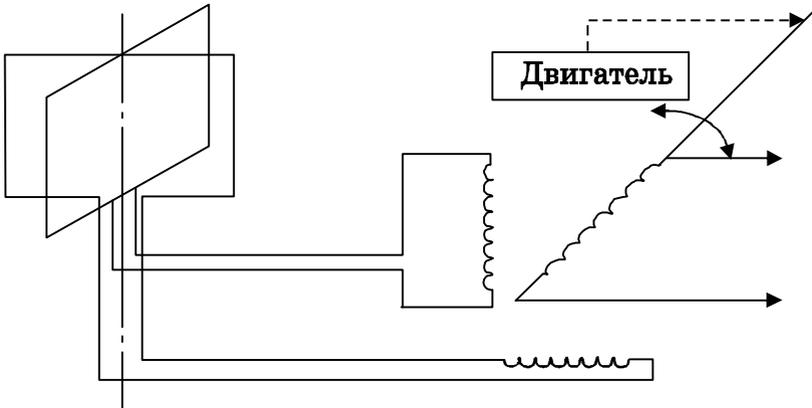


Рис. 14. Принцип работы рамочных антенн с гониометром

Суммарное магнитное поле в гониометре определяется соотношением указанных составляющих, и его направление соответствует углу прихода радиоволны. Вращающаяся катушка дает максимальное выходное напряжение при расположении ее вдоль результирующего поля. Следовательно, вращая только подвижную катушку гониометра, можно определять угол прихода радиоволны в рассматриваемой системе с неподвижной рамочной антенной.

Еще одной особенностью схемы является то, что электродвигатель гониометра, теперь исполняющий роль двигателя вращения рамочной антенны, питается непосредственно током генератора низкой частоты (135 Гц).

В режиме «РАМКА» компас особенностей не имеет. Следует иметь в виду только то, что производится ручное вращение катушки гониометра, а не рамочной антенны.

Автоматический УКВ-радиокомпас АРК-У2

Самолетный автоматический УКВ-радиокомпас АРК-У2 предназначен для пеленгования УКВ-радиостанций, расположенных на земле или на летательных аппаратах. Он используется для обеспечения встречи самолетов в воздухе, для привода самолетов или вертолетов на аварийные УКВ-радиомаяки, а также может применяться в качестве резервного средства с целью привода самолетов на аэродром посадки.

По устройству и принципу работы радиокомпас аналогичен средневолновым автоматическим радиокомпасам, за исключением того, что в нем в качестве радиоприемника используется приемник штатной УКВ-радиостанции летательного аппарата, в котором предусмотрена возможность подключения к нему УКВ-радиокомпаса. Возможно также использование специального УКВ-приемника.

Основные характеристики компаса:

- 1) дальность действия при пеленговании наземной радиостанции на высоте полета 5000 м 120 км;
- 2) диапазон рабочих частот 100–150 МГц;
- 3) потребляемая электроэнергия: 27 В 1,2 А и 115 В 400 Гц 1 А.

Точность пеленгования с помощью УКВ-радиокомпаса в значительной степени зависит от типа летательного аппарата и места расположения антенного блока на нем, от частоты радиосигнала и курсового угла радиостанции. В результате радиодeviация имеет слабо выраженный систематический характер и принцип автоматической компенсации девиации, как это имеет место в средневолновых компасах, является неэффективным. Поэтому точность пеленгования УКВ-радиокомпаса оказывается недостаточной для решения основной навигационной задачи.

В комплект радиокомпаса входят следующие блоки (рис. 15):

- 1) антенный блок;
- 2) антенный усилитель;
- 3) коммутационная коробка,
- 4) блок управляющей системы;

5) пульт управления.

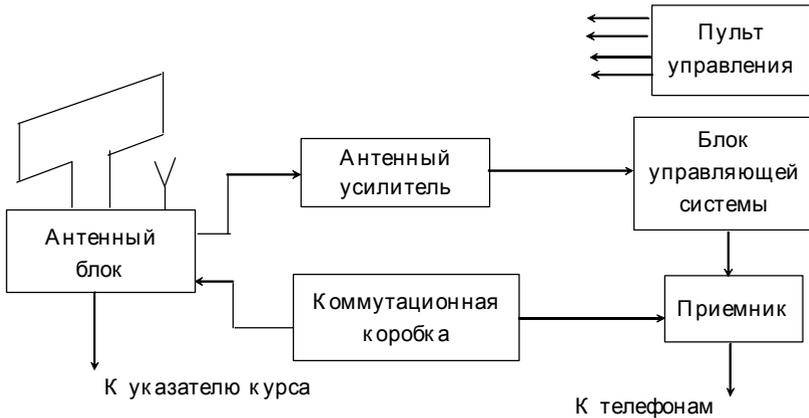


Рис. 15. Структурная схема АРК-У2

В состав антенного блока входят рамочная антенна, ненаправленная антенна, коммутатор фазы, электродвигатель вращения рамки и тахогенератор, компенсатор радиодевиации, сельсин-датчик и некоторые другие элементы.

Особенностью антенного блока является то, что в нем помещен коммутатор фазы сигнала рамочной антенны. Напряжение коммутации подводится от генератора, имеющего частоту 30 Гц и расположенного в блоке управляющей системы. Ненаправленная антенна выполнена в виде полосок фольги, наклеенных на сердечник рамочной антенны.

Антенный усилитель на полупроводниковых приборах усиливает коммутированный сигнал, сложенный с сигналом от ненаправленной антенны.

Коммутационная коробка служит для соединения частей компаса со штатным приемником. Блок управляющей системы предназначен для создания коммутирующего напряжения, также для преобразования выходного сигнала приемника на частоте коммутации, несущего информацию о курсовом угле, в напряжение частотой 400 Гц, подаваемое на двигатель рамки.

На пульте управления кроме тумблера включения компаса расположен нажимной тумблер ручного вращения рамки влево-

вправо и тумблер переключения величины чувствительности системы автоматического вращения рамки. Отдельного переключателя режимов работы у радиокompаса нет. Основной режим работы соответствует режиму «КОМПАС». Нажимной тумблер обеспечивает кратковременный перевод компаса в режим «РАМКА». Самостоятельного режима «АНТЕННА» нет, ему соответствует самостоятельная работа штатного приемника.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Для чего предназначен автоматический радиокompас?
2. Как определить координаты самолета с помощью автоматического радиокompаса?
3. По каким источникам сигналов и в каких диапазонах волн работают радиокompасы?
4. Поясните принцип образования диаграммы направленности рамочной антенны.
5. Поясните принцип формирования диаграммы направленности комбинированной антенны, применяемой в радиокompасе.
6. Назовите методы пеленгования при использовании направленной антенны, выделите метод, применяемый в АРК, и поясните особенности его реализации.
7. Поясните принцип автоматического пеленгования, реализуемый в АРК.
8. Поясните принцип ликвидации двузначности при пеленговании, который реализован в АРК.
9. В каких режимах работает АРК и что обеспечивает он в каждом режиме?
10. Поясните принцип пеленгования с помощью неподвижной комбинированной антенны, которая используется в перспективных образцах АРК.

5. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная установка выполнена в двух вариантах: на базе компаса АРК-5 и на базе компасов АРК-11 и АРК-15. Первый вариант расположен на инженерном столе, второй – на штатном испытательном стенде, используемом ремонтными службами аэропортов. В состав установки кроме радиокompасов с устройствами индикации, управления и питания входят генераторы сигналов, имитирующие работу радиовещательных станций и приводных радиомаяков и осциллограф. На рис. 16 представлена структурная схема установки на базе прибора АРК-5.

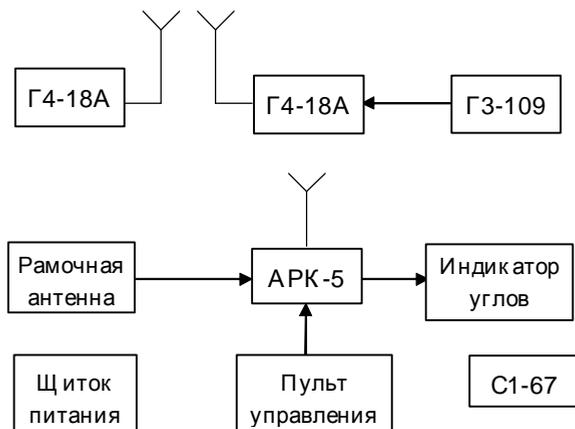


Рис. 16. Схема лабораторной установки

Включение АРК-5 производится переключателем «РОД РАБОТЫ», имеющим следующие положения: «ВЫКЛЮЧЕНО», «КОМПАС», «АНТЕННА», «РАМКА».

Настройка АРК-5 на частоту источника сигнала осуществляется: грубо – переключателем диапазонов «150–310» – «310–640» – «640–1300», плавно – ручкой «НАСТРОЙКА».

ВНИМАНИЕ! ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ ДИАПАЗОНА ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЕМ «150–310» – «310–640» – «640–1300» ВЫПОЛНЯТЬ НЕ БОЛЕЕ ОДНОГО РАЗА В ТРИ МИНУТЫ.

Громкость звучания регулируется ручкой «ГРОМКОСТЬ».

В режиме «РАМКА» можно осуществить принудительное вращение рамочной антенны. Для этого нужно нажать на переключатель «РАМКА» и повернуть его влево (Л) или вправо (П).

Настройка на источник сигнала производится на слух либо по индикатору настройки.

6. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Включить питание установки тумблерами «220», «115», «25» на правом щитке лабораторного макета.

2. Включить АРК-5, установив переключатель рода работ на щитке управления в положение «КОМПАС».

3. Настроиться на радиовещательную станцию на любом из поддиапазонов, измерить ее пеленг и ошибку пеленгования.

3.1. В положении «КОМПАС» измерить пеленг радиостанции.

3.2. Переключатель рода работ установить в положение «РАМКА».

3.3. Переключателем «РАМКА» отвести рамку влево или вправо на 90–120 градусов.

3.4. Установить переключатель рода работ в положение «КОМПАС», измерить пеленг радиостанции.

3.5. Повторить пункты 3.1–3.4 десять раз и записать результаты пеленгования.

3.6. Рассчитать среднее значение и дисперсию ошибки измерения пеленга по формулам:

$$\alpha_{\text{cp}} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} \alpha_i; (\Delta\alpha)^2 = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} (\alpha_i - \alpha_{\text{cp}})^2.$$

4. Определить зависимость ошибки пеленгования от отношения сигнал/помеха.

4.1. Включить генераторы Г4-18 и настроить их на частоту 600 кГц.

4.2. Установить ручками «ВЫХОД» уровень выходного сигнала 300 мВ.

4.3. Установить в генераторах внутреннюю АМ с уровнем 75%.

4.4. Настроить АРК на частоту 600 кГц.

4.5. Путем подстройки несущей частоты генераторов Г4-18 добиться слышимости на АРК модулирующих частот 400 или 1000 Гц.

Операция выполняется последовательно для обоих генераторов с выключением одного из них тумблером «Ген. ВЧ».

4.6. Изменением уровня выходных сигналов генераторов Г4-18 установить одинаковые сигналы на выходе АРК. Операция выполняется последовательно, контроль уровня сигнала ведется по осциллографу.

4.7. Выключить генераторы тумблерами «Ген. ВЧ».

4.8. Считать правый генератор Г4-18 источником сигнала, а левый генератор Г4-18 – источником помехи.

4.9. Включить генератор сигнала тумблером «Ген. ВЧ» и определить пеленг источника сигнала. Генератор сигнала выключить тумблером «Ген. ВЧ».

4.10. Включить генератор помехи, определить пеленг источника помех. Выключить генератор.

4.11. Включив оба генератора и изменяя уровень сигнала генератора помехи ступенями переключателя «ВЫХОД», получить зависимость погрешности пеленгования от отношения сигнал/помеха. Результаты измерений занести в таблицу.

$U_1 = \text{const}$							
U_2 , мВ							
α , градус							
U_1 / U_2 , дБ							
α , градус							

5. Определить зависимость ошибки пеленгования от отношения сигнал/помеха при расстроенной помехе.

5.1. Включив генераторы сигнала и помехи в положение «ВНЕШ. МОДУЛЯЦИЯ», расстроить генератор помехи на небольшую величину. Грубо величину расстройки определяют по высоте сигнала биений, слышимых через динамик АРК-5, точно – по осциллографу.

5.2. Снять зависимость ошибки пеленгования от отношения сигнал/помеха при расстройке помехи на 1 кГц, 3 кГц. Результаты измерений занести в таблицы, аналогичные таблице пункта 4.11, для каждой расстройки соответственно.

5.3. Выключить АРК-5 и генераторы Г4-18.

6. Выключить питание лабораторной установки тумблерами «220», «115», «25» на щитке питания.

7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Введение – показать состояние технической проблемы при разработке и эксплуатации АРК.

Описание лабораторной установки и методики эксперимента – привести функциональную схему лабораторной установки, описать метод измерения, используемый в данной работе.

Основные расчетные формулы – привести только те расчетные формулы, которые будут использованы при обработке экспериментальных данных.

Результаты эксперимента и их анализ – изложить последовательно содержание выполняемой работы, предварительные расчеты, результаты экспериментов и их анализ. Сопоставить полученные данные с теоретическими.

Представить следующие результаты эксперимента: точность пеленгования (пункт 3.6); три таблицы (пункты 4.11, 5.2); графики, построенные по таблицам на одном рисунке. Здесь же привести примерный ход зависимости теоретической ошибки пеленгования от отношения сигнал/помеха при одинаковых частотах сигнала и помехи.

Выводы – дать объяснение характера полученных зависимостей на основе физических представлений о явлении (пункт 5.3), анализ ценности полученных результатов, указать возможные причины расхождения теоретических и практических результатов (пункт 5.3).

8. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- 8.1. Белавин О.В. Основы радионавигации. – М.: Сов. радио, 1977.
- 8.2. Дудко Б.П. Радионавигация: Учеб. пособие. – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2003.
- 8.3. Бондарчук И.Е. Летная эксплуатация навигационного оборудования самолетов. – М.: Транспорт. 1978.