

**РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ  
СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ  
ОБЪЕКТОВ**

**ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ**

Министерство образования и науки Российской Федерации

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Тамбовский государственный технический университет»

# РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ

Лабораторные работы по дисциплине "Радиотехнические системы"  
для студентов дневного и заочного отделений специальности 210201

Издание второе, исправленное



---

Тамбов  
Издательство ТГТУ  
2006

УДК 696:28.342  
ББК 85я73-5  
P15

Утверждено Редакционно-издательским советом университета

Р е ц е н з е н т

Доктор технических наук, профессор  
*А.А. Чуриков*

Составители:

*Т.И. Чернышова, В.А. Тетушкин*

P15 Радиотехнические системы определения местоположения объектов: Лаб. работы. 2-е изд., испр. / Сост.: Т.И. Чернышова, В.А. Тетушкин. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2006. 28 с.

Приведены описания лабораторных работ по исследованию устройств радионавигационных и радиолокационных систем, основные технические и тактические характеристики.

Предназначены для студентов дневного и заочного отделений специальности 210201.

УДК 696:28.342

ББК  $\aleph$ 85я73-5

© Тамбовский государственный  
технический университет (ТГТУ), 2006

Учебное издание

## **РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ**

Лабораторные работы

Издание второе, исправленное

Составители: Чернышова Татьяна Ивановна,  
Тетушкин Владимир Александрович

Редактор Т.М. Г л и н к и н а  
Инженер по компьютерному макетированию Т.А. С ы н к о в а

Подписано в печать 2.05.2006  
Формат 60 × 84 / 16. Бумага газетная. Печать офсетная  
Гарнитура Times New Roman. Объем: 1,63 усл. печ. л.; 1,60 уч.-изд. л.  
Тираж 100 экз. С. 243

Издательско-полиграфический центр  
Тамбовского государственного технического университета,  
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ДАЛЬНОСТИ

Цель работы:

- 1 Ознакомление с принципом работы радиовысотомера, использующего метод частотной модуляции на примере радиовысотомера типа РВ-УМ.
- 2 Изучение структурной схемы и конструкций блоков радиовысотомера и измерение его параметров.
- 3 Закрепление теоретических сведений о радиотехнических системах (РТС) данного типа.

## ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Радиовысотомер малых высот типа РВ-УМ предназначен для определения истинной высоты полета над земной поверхностью в диапазоне от 0 до 600 м и для обеспечения звуковой и световой сигнализации заданных высот полета.

Показания радиовысотомера не зависят от покрова местности и атмосферных условий (температуры, влажности и т.п.). Отдельные крупные строения, возвышенности, овраги, берега рек и озер отмечаются на указателе высоты соответствующими изменениями показаний высоты.

Радиовысотомером затруднительно пользоваться при полетах над горной местностью вследствие резких изменений расстояний от летящего самолета до земли, которые могут превышать диапазон измеряемых высот.

При значительных продольных и поперечных кренах самолета (более 30°) показания радиовысотомера становятся ошибочными (особенно при полетах над пересеченной местностью) и пользоваться им в этих случаях не рекомендуется.

Основные тактико-технические данные радиовысотомера:

- 1 Диапазон измеряемых высот: от 0 до 600 м.
- 2 Точность измеряемой высоты в диапазоне 0 – 600 м:  $\pm 5$  м,  $\pm 8\%$   $H$ .
- 3 Средняя частота генератора СВЧ:  $444 \pm 6$  МГц.
- 4 Полоса модуляции:  $17 \pm 2$  МГц.
- 5 Потребляемая мощность: не более 125 В · А.
- 6 Излучаемая мощность: не менее 0,2 Вт.
- 7 Сигнализация заданной высоты: звуковая и световая.
- 8 Источник питания: 115 В, 400 Гц.

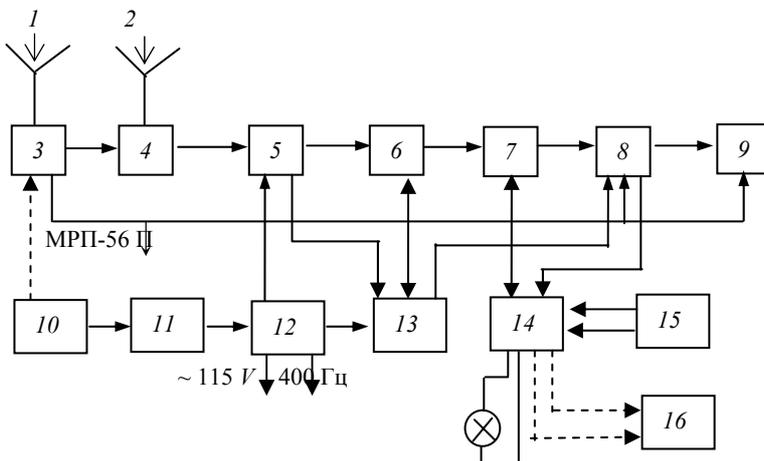
Работа радиовысотомера основана на явлении отражения радиоволн от земной поверхности. Для определения высоты полета самолета использован частотный метод, использующий пропорциональность между временем запаздывания отраженного сигнала и частотой биений, образующихся в результате взаимодействия этого сигнала с излучаемым колебанием.

При этом частота излучаемых колебаний изменяется обычно по периодическому закону (линейно-пиллообразному, синусоидальному и т.п.).

Блок-схема радиовысотомера показана на рис. 1.1.

Конструктивно радиовысотомер выполнен из следующих основных частей: антенного устройства, приемно-передающего устройства, указателя высоты УВ-57, представляющего собой стрелочный прибор постоянного тока, переключателя сигнализируемой высоты ПСВ-УМ, предназначенного для установки заданной высоты, и приставки раздельной сигнализации для подачи звукового сигнала.

Антенное устройство радиовысотомера состоит из двух антенн: приемной и передающей. Обе антенны одинаковы конструктивно и по электрическим параметрам и, следовательно, взаимозаменяемы. Антенны крепятся на металлической обшивке крыльев или фюзеляжа самолета. У основания антенны имеется разъем для подключения соединительного кабеля.



**Рис. 1.1 Блок-схема радиовысотомера:**

1 – антенна передающая; 2 – антенна приемная; 3 – генератор СВЧ; 4 – балансный детектор; 5 – усилитель низкой частоты; 6 – ограничитель; 7 – счетчик; 8 – усилитель постоянного тока; 9 – указатель высоты; 10 – электродвигатель; 11 – звуковой генератор; 12 – цепи питания; 13 – схема блокировки указателя высоты; 14 – схема сигнализации заданной высоты; 15 – переключатель сигнализируемой высоты; 16 – приставка раздельной сигнализации

Приемопередатчик состоит из генератора СВЧ, балансного детектора, звукового генератора, усилителя низкой частоты (УНЧ), ограничителя, счетных цепей, цепей сигнализации, схемы блокировки указателя высоты и цепей питания. Приемопередатчик смонтирован на шасси, жестко связанном с передней панелью.

Указатель высоты представляет собой стрелочный прибор постоянного тока, который показывает высоту полета самолета непосредственно в метрах. На указателе высоты помещены резисторы регулировки радиовысотомера "Уст. нуля" и "Калибр".

Переключатель сигнализируемой высоты предназначен для установки заданной высоты 50, 100, 150, 200, 250, 300 и 400 м. При снижении самолета до уровня, соответствующего заданной высоте, в шлемофоне летчика раздается звуковой сигнал тона 400 Гц в течение 3...7 с и на приборной доске загорается красная сигнальная лампа.

Приставка раздельной сигнализации предназначена для подачи звукового сигнала в шлемофоны двух пилотов.

Работа радиовысотомера протекает следующим образом: генератор СВЧ излучает через передающую антенну модулированные по частоте высокочастотные колебания, которые проходят путь от самолета до земли, отражаются от нее, возвращаются обратно и, принятые приемной антенной, поступают на балансный детектор (отраженный сигнал). Одновременно на балансный детектор через фидер, находящийся внутри приемопередатчика, подаются колебания непосредственно от генератора (прямой сигнал).

Так как путь отраженного сигнала зависит от высоты полета и значительно превышает путь прямого сигнала, то отраженный сигнал попадает на балансный детектор с некоторым запаздыванием. Время запаздывания равно времени прохождения радиоволн от самолета до земли и обратно, т.е.

$$t = \frac{2H}{c}, \quad (1.1)$$

где  $H$  – высота полета, м;  $c$  – скорость распространения радиоволн, м/с.

Частота генератора СВЧ со временем изменяется, а путь отраженного сигнала значительно превышает путь прямого сигнала, поэтому на балансный детектор будут поступать два сигнала различной частоты. В результате сложения частот этих сигналов получается напряжение с частотой биений, равной разности частот прямого и отраженного сигналов:

$$F_6 = \frac{4\Delta f F_m H}{c} + F_m, \quad (1.2)$$

где  $F_6$  – частота биений, Гц;  $\Delta f$  – полоса модуляции, Гц;  $F_m$  – частота модуляции;  $H$  – измеряемая высота, м.

Из формулы (1.2) видно, что частота биений пропорциональна высоте.

Усиленное напряжение сигнала после ограничения в амплитудном ограничителе поступает на счетчик радиовысотомера. На счетчике прямоугольные импульсы частоты биений преобразуются в постоянное напряжение, величина которого пропорциональна частоте биений.

Это напряжение поступает на сетку усилителя постоянного тока, в катод которого включен указатель высоты. Указатель высоты градуирован в метрах и отмечает истинную высоту полета. Схема блокировки указателя высоты предназначена для ликвидации ложных показаний указателя высоты и ложной сигнализации заданной высоты при слабом отраженном сигнале, т.е. когда высота полета самолета превышает 600 м. На вход схемы блокировки поступает напряжение с выхода УНЧ. Когда это напряжение достаточно велико (при высоте полета самолета более 600 м), то срабатывает схема блокировки и стрелка указателя высоты становится на первый упор.

Схема блокировки срабатывает в том случае, если переключатель сигнализируемой высоты находится в одном из следующих положений: 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400 м.

Схема сигнализации заданной высоты представляет собой управление двумя напряжениями: напряжением от переключателя сигнализируемой высоты и напряжением от усилителя постоянного тока. Когда эти напряжения сравниваются по величине, срабатывает релейная часть схемы сигнализации заданной высоты и загорается сигнальная лампа. Лампа горит до тех пор, пока самолет находится в зоне заданной высоты (т.е. при снижении самолета до земли). Питание радиовысотомера осуществляется от сети 115 В, 400 Гц.

### Порядок выполнения работы

- 1 Изучить принцип действия радиовысотомера РВ-УМ и режимы его работы.
- 2 Ознакомиться с конструкцией основных блоков, входящих в комплект радиовысотомера РВ-УМ.
- 3 Изучить и описать принципиальную схему одного из блоков высотомера (по заданию преподавателя).
- 4 Произвести проверку работоспособности и настройку высотомера, для чего:
  - а) включить напряжение питания по переменному току 115 В, 400 Гц;
  - б) переключатель сигнализируемой высоты поставить в положение "Выкл.", при этом должна загореться лампочка световой сигнализации;
  - в) переключатель сигнализируемой высоты поставить в положение "К", подключить к радиовысотомеру тестер Т-1 и установить имитируемую высоту по тестеру  $H = 100$  м, при этом стрелка указателя высоты УВ-57 должна установиться на высоте 100 м;
  - г) если стрелка указателя высоты не стоит на отметке 100 м, то с помощью отвертки вращением оси потенциометра

"Калибровка" добиться точного совпадения стрелки индикатора и отметки шкалы указателя высоты;

д) отключить тестер Т-1 и с помощью отвертки, вращая ось "Уст. нуля", добиться установки стрелки указателя высоты на механический ноль.

5 Измерить чувствительность радиовысотомера, для чего:

а) переключатель сигнализируемой высоты поставить в положение "Выкл.";

б) подключить тестер Т-1 и установить высоту на тестере  $H = 100$  м;

в) выдвинуть полностью подвижную часть аттенюатора, на индикаторе стрелка должна показывать механический ноль (белая точка);

г) задвинуть полностью аттенюатор, при этом стрелка высотомера должна показывать 100 м;

д) медленно выдвигая подвижную часть аттенюатора, установить стрелку индикатора на 10 м и по шкале аттенюатора определить величину затухания в дБ;

е) чувствительность определяется с учетом проведенного измерения по формуле

$$S = S_0 + S_c, \quad (1.3)$$

где  $S_0$  – отсчет по шкале аттенюатора;  $S_c$  – собственное затухание тестера Т-1,  $S_c = 30,5$  дБ.

6 Вычислить погрешность определения заданной высоты и проверить срабатывание звуковой и световой сигнализации на заданной высоте, для чего:

а) с помощью тестера Т-1 задать опасную высоту (по указанию преподавателя);

б) переключатель сигнализируемой высоты ПСВ-УМ поставить в положение, равное или превышающее заданное значение высоты, и убедиться в срабатывании звуковой и световой сигнализации; измерить длительность звукового сигнала;

в) по разности заданного значения высоты и показания индикаторной стрелки определить погрешность радиовысотомера.

7 По показаниям стрелки индикатора высоты и на основании формулы (1.1) определить задержку сигнала. Для трех значений высоты построить график зависимости  $t = f(H)$ .

8 При включенном высотомере снять осциллограммы в отдельных точках схемы (по указанию преподавателя), подключая осциллограф к гнездам, выведенным на панели прибора.

#### Содержание отчета

Название работы. Цель работы. Назначение и основные тактико-технические данные радиовысотомера. Блок-схема радиовысотомера с обозначениями. Электрическая принципиальная схема одного из блоков высотомера. Формулы для расчета. Указания по выполнению лабораторной работы. Результаты измерений и расчетов. График зависимости  $t = f(H)$ . Список литературы. Вывод.

#### Контрольные вопросы

1 Назначение радиовысотомера.

2 Назовите основные блоки радиовысотомера.

3 На чем основан принцип действия высотомера?

4 Перечислите основные тактико-технические характеристики радиовысотомера.

5 В чем заключается частотный метод измерения дальности?

6 Какие методы, кроме частотного, могут быть также использованы в РТС для измерения дальности до цели?

7 Как измеряется чувствительность радиовысотомера?

8 Поясните назначение и принцип работы одного из блоков.

9 Как конструктивно выполнен высотомер?

10 Поясните назначение и условия срабатывания световой и звуковой сигнализации.

11 Поясните формулу для определения частоты биений.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2

### ИССЛЕДОВАНИЕ СРЕДНЕВОЛНОВОГО АВТОМАТИЧЕСКОГО РАДИОКОМПАСА ТИПА АРК-9

Цель работы:

**1 Изучение и исследование структуры и принципа действия радионавигационных систем на примере автоматического средневолнового радиокompаса типа АРК-9.**

**2 Получение практических навыков по определению курсового угла с помощью радиокompаса.**

**3 Закрепление теоретических сведений о радиотехнических системах**

(РТС) данного типа.

## ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Средневолновой автоматический радиокompас АРК-9 позволяет решать следующие навигационные задачи:

- совершать полет по направлению на радиостанцию и от нее с визуальной индикацией курса;
- автоматически определять пеленг на радиостанцию по указателю курса;
- совершать заходы на посадку по приборам системы ОСП;
- работать в качестве резервного связного средневолнового радиокompаса.

Основные тактико-технические данные:

- 1 Дальность действия радиокompаса по приводу составляет 160...180 км на высоте полета 1000 м.
- 2 Диапазон частот непрерывный от 150 до 1300 кГц и разбит на четыре поддиапазона: I поддиапазон – 150...300 кГц, II поддиапазон – 300...600 кГц, III поддиапазон – 600...900 кГц, IV поддиапазон – 900...1300 кГц.
- 3 Предельная чувствительность радиокompаса при приеме модулированных и немодулированных сигналов при величине отклонения от истинного пеленга не более чем  $\pm 10^\circ$  и колебания стрелки указателя курса не более чем на  $\pm 3^\circ$  должна быть не хуже 50 мкВ/м.
- 4 Скорость автоматического вращения рамки на любой частоте диапазона равна: а) при напряженности поля сигнала 1000 мкВ/м – 30...60 град/с; б) при напряженности поля, соответствующего предельной чувствительности – 15 град/с.
- 5 Точность градуировки шкалы настройки пультов управления – 2,5 % от номинального значения частоты.
- 6 Ток потребления от борсети: а) по постоянному току 27 В – 1,5...2 А; б) по переменному току 115 В, 400 Гц – не более 1 А.
- 7 Радиокompас предназначен для работы в диапазоне температур окружающей среды от – 50 до + 50 °С при относительной влажности до 98 % и давлении, соответствующем высоте полета 20 км.
- 8 Вес комплекта радиокompаса в однопультовом варианте, имеющего рамочную антенну с внешней компенсацией, без учета весов индикатора курса, автотрансформатора и эквивалентов кабелей должен быть не более 18,8 кг.

Радиокompас можно использовать в трех режимах работы:

1 Режим автоматического пеленгования – "Компас". Является основным рабочим режимом радиокompаса. В этом режиме радиокompас при настройке его на частоту пеленгуемой радиостанции автоматически устанавливает стрелки приборов индикаторов в положение, соответствующее курсовому углу на эту радиостанцию. При этом сигналы радиостанции могут прослушиваться с помощью телефонов на выходе радиокompаса.

2 Режим работы – "Антенна". В этом режиме работы радиокompас может использоваться как обычный средневолновый связной приемник.

3 Режим слухового пеленгования – "Рамка". В режиме слухового пеленгования радиокompас, при настройке его на частоту пеленгуемой радиостанции, позволяет путем поворота рамки переключателей "Л рамка П" на пульте управления (с одновременным прослушиванием сигналов станций или одновременным наблюдением за величиной сигнала на индикаторе настройки радиокompаса) определить положение рамки, соответствующее минимальному (или нулевому) приему. Стрелка указателя курса в этом положении указывает курсовой угол пеленгуемой радиостанции.

Основными элементами конструкции радиокompаса в соответствии с его структурной схемой (рис. 2.1) являются:

- антенный блок, включающий направленную (рамочную) и ненаправленную антенны;
- приемное устройство;
- стрелочный индикатор курса;
- пульт управления, состоящий из переключателя рода работ, переключателей установки частоты, индикатора настройки, регулятора громкости, телефонных гнезд (при работе в режиме слухового пеленгования);
- система дистанционной передачи угла поворота рамки антенны, включающая сельсин-приемник и сельсин-датчик.

Все переключатели и индикаторные устройства для визуального наблюдения и управления работой радиокompаса вынесены на переднюю панель.

Пеленгование с помощью радиокompаса основано на использовании направленной характеристики приемной антенны-рамки.

Как известно, диаграмма направленности рамки имеет вид восьмерки (рис. 2.2, а). Это означает, что интенсивность приема такой антенны меняется в зависимости от направления прихода радиоволны. В частности, когда плоскость витков рамки совпадает с направлением на радиостанцию, ЭДС на зажимах рамки – максимальна. Когда же плоскость витков рамки перпендикулярна направлению на радиостанцию – прием на рамку отсутствует и ЭДС на ее зажимах равна нулю.

При изменении направления отклонения рамки в ту или другую сторону от положения нулевого приема фаза ЭДС на зажимах рамки изменяется на  $180^\circ$ , так как при этом изменяется направление прихода радиоволны по отношению к виткам рамки. Поэтому на диаграмме направленности (рис. 2.2, а) фазы ЭДС на зажимах рамки справа и слева от линии пеленга изображены с противоположными знаками.

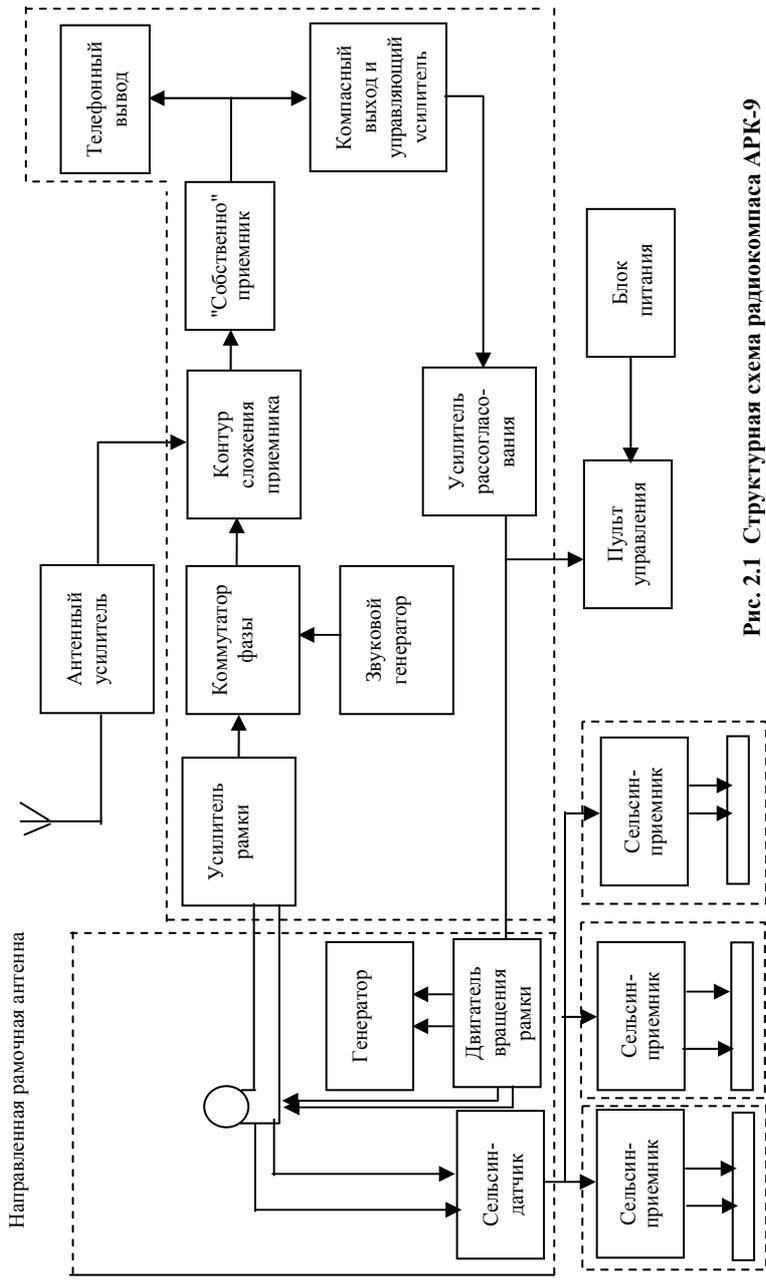


Рис. 2.1 Структурная схема радиокompаса АРК-9

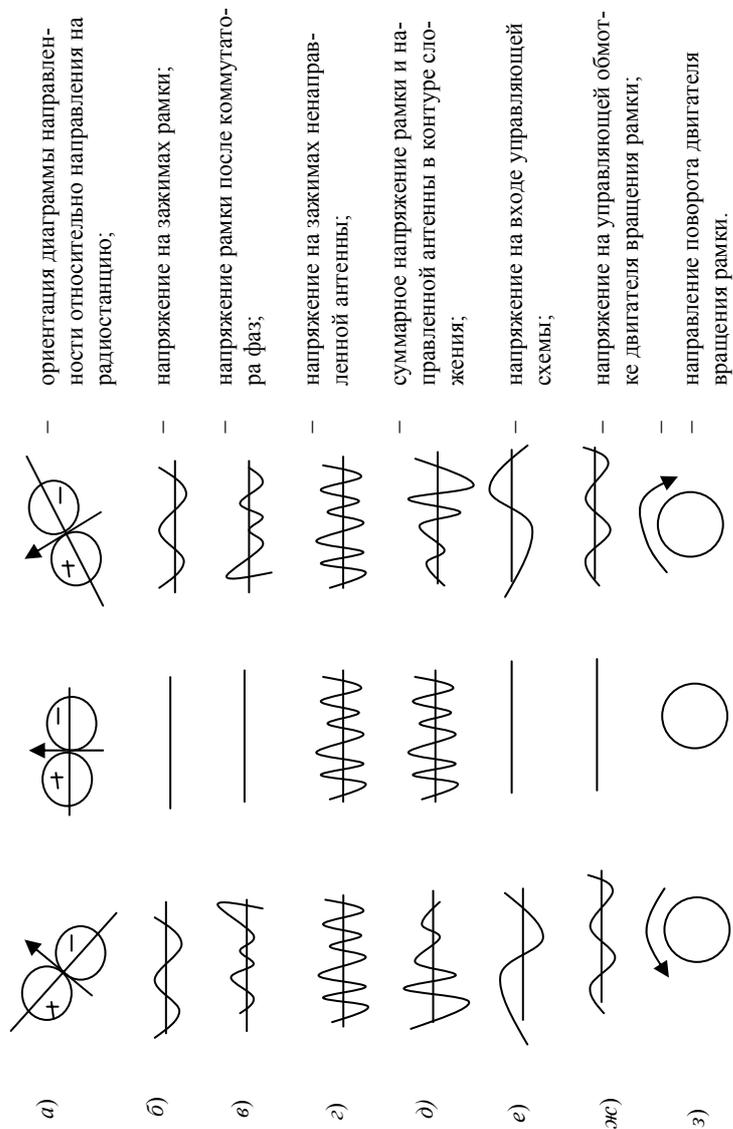


Рис. 2.2 Диаграммы направленности направленной рамочной антенны

На рис. 2.2 приведены графики напряжений в характерных точках схемы радиокompаса в зависимости от направления прихода радиоволны.

Из рисунка видно, что когда радиостанция расположена в направлении пеленга, напряжение сигнала на зажимах рамки равно нулю. Для случаев отклонения рамки вправо и влево от этого направления ЭДС на зажимах рамки противоположны по фазе (см. рис. 2.2, б).

С зажимов рамки напряжение сигнала поступает на усилитель рамочного канала, усиливается и попадает на балансный модулятор, иначе называемый коммутатором фазы. Коммутатор фазы, управляемый звуковым генератором, осуществляет изменение фазы этого сигнала на  $180^\circ$  в такт с частотой местного звукового генератора через каждые полпериода его частоты. Напряжение на выходе коммутатора фазы приведено на рис. 2.2, в. Из рисунка видно периодическое изменение фазы сигнала высокой частоты и противоположность фаз сигналов, соответствующих правому и левому отклонению рамки от положения пеленга. После коммутатора фазы напряжение рамочного канала поступает в антенный контур (контур сложения). Туда же, в контур сложения, через антенный усилитель поступает напряжение от ненаправленной антенны.

Электродвижущая сила, проводимая электромагнитным путем в ненаправленной антенне, ни по величине, ни по фазе не зависит от направления прихода волны. Иначе говоря, диаграмма направленности такой антенны в горизонтальной плоскости представляет собой окружность. Напряжение на входе контура сложения от ненаправленной антенны приведено на рис. 2.2, г.

Так как напряжение сигнала от рамочного входа в коммутаторе фазы периодически изменяется по фазе на  $180^\circ$ , то оно складывается с напряжением сигнала ненаправленной антенны или вычитается из него. В результате на выходе коммутатора фазы создается результирующее амплитудно-модулированное напряжение сигнала (рис. 2.2, з, д).

Следует отметить, что одновременно с амплитудной модуляцией сигнала частотой местного звукового генератора сигнал от радиостанции может иметь собственную модуляцию (речь, музыка, команды и т.д.).

Сгибающая модуляция сигнала после детектора усиливается в каскадах телефонного выхода и прослушивается в телефонах на выходе приемника радиокompаса.

Изменение амплитуды результирующего напряжения сигнала происходит с частотой местного звукового генератора. Глубина модуляции результирующего сигнала пропорциональна углу отклонения рамки от напряжения на радиостанцию; фазы огибающей противоположны для случаев правого и левого отклонения от направления пеленга.

Рассмотрим причину появления противоположности фаз огибающей для случаев разностороннего отклонения рамки.

Допустим, что при отклонении рамки вправо от направления на радиостанцию фаза сигнала от рамочного входа в контуре сложения приемника получается такова, что в первый полупериод частоты коммутации рамочный сигнал складывается с сигналом ненаправленной антенны. Следовательно, фаза огибающей результирующего колебания в этот полупериод частоты коммутации положительна.

При отклонении влево от направления на радиостанцию напряжение фазы сигнала от рамочного входа в контуре сложения приемника изменяется на  $180^\circ$ . Следовательно, во второй полупериод частоты коммутации напряжение сигнала рамочного входа будет вычитаться из напряжения сигнала ненаправленной антенны. Амплитуда результирующего напряжения будет меньше амплитуды антенного сигнала, другими словами, фаза огибающей во второй полупериод частоты коммутации будет отрицательна (см. рис. 2.2, *д*).

При установке рамки в направлении пеленга на радиостанцию напряжение сигнала от рамочного входа становится равным нулю и на входе приемника остается только напряжение сигнала от ненаправленной антенны (см. рис. 2.2, *д*).

Результирующее амплитудно-модулированное напряжение сигнала из контура сложения попадает далее в тракт обычного супергетеродинного приемника. В приемнике это напряжение усиливается, преобразуется по высокой частоте, детектируется и с нагрузки детектора подается на каскады усилителя компасного канала.

Эти каскады выделяют и усиливают только напряжение частоты звукового генератора. Поэтому собственная модуляция сигналов радиостанций (речь, музыка) не сказывается на работе АРК. Напряжение на входе компасного канала имеет вид, приведенный на рис. 2.2, *е*.

Усиленное напряжение подается далее на каскады управляющей схемы. Под воздействием этого напряжения в управляющей схеме вырабатывается напряжение частоты 400 Гц (рис. 2.2, *ж*), которое подается на управляющую обмотку синхронного двигателя, вращающего рамочную антенну. Фаза переменного напряжения 400 Гц определяется фазой напряжения сигнала, снимаемого с нагрузки детектора.

Двигатель через редуктор связан с рамочной антенной радиокompаса и, вращаясь от приложенного управляющего напряжения, поворачивает рамку (рис. 2.2, *з*).

В положении пеленга на радиостанцию, когда на рамочном входе радиокompаса напряжение сигнала становится равным нулю, амплитудная модуляция напряжения на входе приемник исчезает, на управляющую схему напряжение сигнала поступает и двигатель останавливается.

При отклонении рамки влево или вправо на рамочном входе радиокompаса появляется напряжение сигнала. Фаза напряжения сигнала при отклонении рамки влево сдвинута на  $180^\circ$  относительно фазы напряжения при отклонении рамки вправо.

Переменное напряжение 400 Гц, подаваемое на управляющую обмотку двигателя с компасного канала, в зависимости от отклонения рамки (влево или вправо) также имеет противоположные фазы. В этом случае двигатель поворачивает рамку в положение пеленга на радиостанцию влево или вправо (см. рис. 2.2, *з*).

Таким образом, при любом отклонении рамки от положения пеленга на радиостанцию в радиокompасе автоматически вырабатывается управляющее напряжение, приводящее во вращение двигатель, который снова устанавливает рамку в положение пеленга на принимаемую радиостанцию. В этом и заключается принцип действия автоматического радиокompаса. Одновременно с поворотом рамки с помощью сельсинной передачи осуществляется поворот стрелки индикатора (указателя курса), который и показывает угол между продольной осью самолета и направлением на радиостанцию, т.е. курсовой угол радиостанции (КУР).

Описанный выше принцип действия радиокompаса представляет работу в основном режиме – режиме автоматического пеленгования "Компас".

В режиме "Рамка" коммутатор фазы радиокompаса работает только как усилитель высокой частоты. Звуковой генератор, антенный усилитель и управляющая схема отключаются, а приемник радиокompаса используется для усиления сигнала, поступающего от рамочного канала. Пеленгование в этом случае может проводиться по попаданию сигнала пеленгуемой радиостанции в телефонах при вращении рамки. Вращение рамки в этом режиме осуществляется с помощью того же двигателя, но напряжение на его управляющую обмотку попадает не от управляющей схемы, а непосредственно от блока питания через переключатель ручного вращения "Л рамка П", расположенный на пульте управления и предназначенный для правого и левого вращения рамки.

В режиме работы "Антенна" радиокompас может использоваться как обычный связной средневолновый приемник. В этом режиме отключаются рамочный вход и управляющая схема.

Все основные органы управления радиокompасом расположены на пульте управления и включают следующие элементы:

- 1 Ручку декадной настройки, служащую для установки сотен и десятков килогерц заданной частоты.
- 2 Ручку "Подстройка", служащую для точной настройки на заданную частоту с помощью индикатора настройки на пульте управления.
- 3 Регулятор "Громкость", изменяющий усилие приемника в режимах "Антенна" и "Рамка" и напряжение на телефонах в режиме "Компас".
- 4 Переключатель рода работ, осуществляющий перевод радиокompаса в различные режимы работы.
- 5 Тумблер-переключатель "ТЛФ-ТЛГ", позволяющий производить переключение в схеме для прослушивания позывных сигналов радиостанций, работающих незатухающими немодулированными сигналами.
- 6 Тумблер "Л рамка П" с нефиксированным положением – для ручного вращения рамки.
- 7 Индикатор настройки, служащий для определения точной настройки радиокompаса на заданную частоту по максимальному отклонению стрелки.
- 8 Переключатель волн (ДПВ), позволяющий переходить с частоты дальней приводной станции (основной канал) на частоту ближней приводной радиостанции (резервный канал).

## Порядок выполнения работы

- 1 Изучить принцип действия радиокompаса АРК-9 и режимы его работы.
- 2 Ознакомиться с конструктивным выполнением всех блоков, входящих в комплект АРК-9.
- 3 Изучить и описать принципиальную схему одного из блоков радиокompаса (по заданию преподавателя).
- 4 Произвести проверку работоспособности радиокompаса, для чего:
  - а) включить напряжение питания по постоянному току 27 В и переменному току частотой 400 Гц – 115 В, по загоранию лампы подсвета пульта управления судят о подаче в радиокompас напряжения 27 В и по отклонению стрелки индикатора настройки о подаче напряжения 115 В, при этом в телефонах появится характерный шум, стрелка индикатора настройки отойдет от нулевого значения, а у стрелки сельсина-указателя курса появится небольшой самоход или колебание;
  - б) перевести переключатель рода работ поочередно на положение "Компас", "Антенна" или "Рамка" и удостовериться в работоспособности системы на всех режимах по отклонению от "0" индикатора настройки, появлению шума в телефонах, свечению лампочек подсветок (регулятор "рег. громк." должен быть повернут до отказа по часовой стрелке, а тумблер на пульте управления связной радиостанции должен при этом находиться в положении "АРК");
  - в) установить переключатель рода работ в положение "Антенна" и настроить приемник на какую-нибудь радиостанцию, лежащую в этом диапазоне частот;
  - г) убедиться в действии тумблера "ТЛФ-ТЛГ" по появлению в телефонах тона звуковой частоты в режиме "ТЛГ" и исчезновению его в режиме "ТЛФ";
  - д) вращая ручку "Громкость" на пульте управления, убедиться в действии регулятора при положении переключателя рода работ "Компас", "Антенна";
  - е) поставить переключатель рода работ в положение "Компас", при этом стрелка указателя пеленга должна занять положение, соответствующее направлению на данную станцию (положение "пеленга");
  - ж) убедиться в наличии ручного вращения рамки при нажатии на переключатель рамки "Л-П" на пульте, а также убедиться в соответствии направления нажатия переключателя направлению стрелки индикатора курса.
- 5 Определить погрешность градуировки шкалы приемника радиокompаса, для чего:
  - а) поставить переключатель рода работ на пульте управления в положение "Антенна" или "Рамка";
  - б) ручкой декадной настройки установить сотни и десятки килогерц частоты сигнала и точно настроить радиокompас ручкой "Подстройка" по индикатору настройки на частоту одной ширококвещательной станции (частота станции задается преподавателем);
  - в) определить разность частоты настройки приемника и приемной станции и рассчитать погрешность приемника;
  - г) для повышения достоверности результатов операции, указанные в пунктах а), б) и в), следует провести для 2-3-х ширококвещательных станций, соответствующих разным участкам диапазона частот приемника радиокompаса, и полученные результаты усреднить.
- 6 Определить пеленг приводной радиостанции для основного блока, для чего:
  - а) настроить приемник на частоту приводной радиостанции, указанную преподавателем; при этом переключатель рода работ должен быть установлен в положение "Антенна";
  - б) переключить ручку рода работ в положение "Компас", при этом стрелка индикатора курса радиокompаса повернется и укажет курсовой угол приводной радиостанции – угол между продольной осью антенны и направлением на радиостанцию;
  - в) по разности между курсовым углом, показываемым стрелкой радиокompаса, и истинным значением этого угла рассчитываются абсолютная и относительная погрешности пеленга радиокompаса. Результаты измерений занести в таблицу.
- 7 Повторить п. 6 для резервного блока. Результаты измерений и расчетов занести в таблицу:

**Таблица**

Частота приводной радиостанции, кГц	Показания АРК-9, град		Истинное значение курсового угла	Абсолютная погрешность, град	Относительная погрешность, %
	основной блок	резервный блок			

- 8 Измерить скорость вращения рамочной направленной антенны, для чего:
  - а) настроить приемник на частоту приводной радиостанции в режиме "Антенна";
  - б) переключить ручку рода работ в положение "Компас";
  - в) переключателем "Л-П" отвести рамку радиокompаса на 160° влево или вправо от положения пеленга;
  - г) включить секундомер и отсчитать время, необходимое для возвращения рамки в положение пеленга, отношение числа градусов разворота рамки (160°) ко времени возврата стрелки индикатора в положение пеленга и определить скорость автоматического вращения рамки  $V = 160/t$ .
- 9 Определить максимальное время перестройки радиокompаса, для чего:
  - а) настроить основной канал пульта управления на одну из приводной радиостанций на частоте 150...400 кГц, а резервный – на вторую радиостанцию, работающую на частоте 1100...1250 кГц;
  - б) по секундомеру определить время перестройки радиокompаса с момента переключателя ДПВ с основного на резервный канал до отклонения стрелки указателя КУР в положение пеленга.

### Содержание отчета

Название работы. Цель работы. Общие сведения и основные, тактико-технические данные радиокompаса. Режимы работы АРК-9. Структурная схема радиокompаса. Электрическая принципиальная схема одного из блоков АРК-9. Указания по выполнению лабораторной работы. Результаты измерений и вычислений. Список литературы. Вывод.

### Контрольные вопросы

- 1 Назначение радиокompаса.
- 2 Из каких основных блоков состоит структурная схема радиокompаса АРК-9?
- 3 К какому типу радиотехнических систем следует отнести радиокompас?
- 4 Каковы основные тактико-технические данные АРК-9?
- 5 Назовите и охарактеризуйте режимы работы радиокompаса.
- 6 Перечислите основные элементы конструкции АРК-9.
- 7 Расскажите принцип действия радиокompаса в трех режимах работы: "Компас", "Антенна", "Рамка".
- 8 Назовите назначение основных органов управления АРК-9.
- 9 Как осуществляется проверка работоспособности радиокompаса?
- 10 Для чего и как определяется погрешность градуировки шкалы приемника радиокompаса?
- 11 Как определяется пеленг приводной радиостанции?
- 12 Каким образом измеряется скорость вращения рамочной направленной антенны?
- 13 Для чего определяется время автоматической перестройки радиокompаса с одной частоты на другую?
- 14 Какова должна быть точность определения пеленга приводной радиостанции и каким образом можно ее повысить?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3

### ИССЛЕДОВАНИЕ САМОЛЕТНОГО РАДИОЛОКАТОРА "ГРОЗА-М"

Цель работы:

**1 Ознакомление с функционированием радиолокационной станции (РЛС).**

**2 Выявление влияющих параметров отдельных устройств на тактические характеристики всей РЛС.**

3 Определение степени соответствия тактико-технических характеристик данной РЛС современному уровню радиотехнических систем.

#### Общие положения

Основные характеристики и назначение метеонавигационного радиолокатора "Гроза-М-24":

Самолетный метеонавигационный радиолокатор "Гроза-М-24" предназначен для установки на самолетах АН-24 всех модификаций. Радиолокатор обеспечивает качественный навигационный обзор земной поверхности, обнаружение опасных для полета гидрометеообразований (грозы, мощнокучевая облачность и т.д.), определение угла сноса самолета.

Для выполнения различных тактических задач в станции предусмотрено пять автономных режимов работы:

– режим "Готов". При установке переключателя режимов в положение "Готов" все блоки радиолокатора подключаются к сети питания. Излучение СВЧ-энергии не происходит, но радиолокатор находится в состоянии готовности к немедленной работе;

– режим работы "Земля". При работе радиолокатора в указанном режиме соответствующим выбором схемы и параметров отдельных его каналов и блоков обеспечивается получение на индикаторе в полярных координатах "азимут – дальность" непрерывной радиолокационной карты земной поверхности, расположенной впереди самолета в пределах азимутальных углов  $90^\circ$  в обе стороны от его строительной оси (с учетом ширины диаграммы направленности);

– режим "Метео". При работе радиолокатора в указанном режиме обеспечивается получение на индикаторе в полярных координатах "азимут – дальность" радиолокационного изображения воздушной обстановки в пространстве, ограниченном азимутальными углами  $90^\circ$  в обе стороны от строительной оси самолета и углами места  $1,5 \dots 2^\circ$  в обе стороны относительно плоскости горизонта при установке регулятора "наклон" в нулевое положение. Для того, чтобы сектор обзора не изменял своего положения в пространстве при кренах самолета и тангаже, что особенно важно при обходе грозовых зон, ось диаграммы направленности антенны гиросtabilизирована. Режим "Метео" позволяет определять опасные направления полетов самолетов в сложных метеоусловиях;

– режим работы "Контур". Указанный режим работы радиолокатора позволяет выявлять внутри отражений от грозовых зон и кучево-дождевой облачности участки, характеризующиеся большими диаметрами имеющихся в них капель, что обуславливает их высокую отражающую способность. Благодаря специальному построению схемы радиолокатора указанные участки представляются на экране индикатора в виде затемненных областей, расположенных в яркосвеченных отметках от обнаруженных грозовых зон;

– режим работы "Снос". В режиме "Снос" производится измерение угла сноса самолета за счет использования амплитудной модуляции отраженного от земной поверхности сигнала спектром вторичных доплеровских частот. Частота мо-

дуляции будет минимальной, практически равной нулю, в тот момент, когда проекция оси веерной диаграммы направленности антенны совпадает с линией пути самолета.

– режим работы "Контроль". В режиме "Контроль" осуществляется проверка работоспособности каналов: индикации, приемного и передающего.

Основные тактико-технические данные радиолокатора:

- 1 Средняя дальность наблюдения для высоты полета 6000 м и более составляет:
  - изображение водных поверхностей – 150...180 км;
  - изображение областных городов и промышленных центров – 250 км;
  - изображение особо крупных промышленных центров – 350 км;
  - дальность обнаружения грозовой и кучево-дождевой облачности – 200 км.
- 2 Возможность угло-ручного наклона оси диаграммы направленности антенны относительно плоскости горизонта от  $15 \pm 1^\circ$  до  $-10 \pm 1^\circ$ .
- 3 Сектор азимутального обзора не менее  $90^\circ$  в обе стороны от  $0^\circ$ .
- 4 Частота излучаемых колебаний –  $9375 \pm 5$  МГц.
- 5 Импульсная мощность излучаемых радиоимпульсов – не менее 9 кВт во всех условиях эксплуатации.
- 6 Величина тока, потребляемая радиолокатором: по цепи 115 В, 400 Гц – 4 А, по цепи 36 В, 400 Гц – 1 А, по цепи 27 В – 5 А.
- 7 Количество меток дальности, расположенных в рабочей части экрана индикаторного блока, должно быть: а) при крайнем левом положении регулятора МАСШТАБ 1 метка (25 км); б) при крайнем правом положении МАСШТАБ 4 метки по 25 км и 2 метки по 100 км.

Радиолокатор "Гроза-М" представляет собой импульсный радиолокатор со сканирующей в азимутальной плоскости антенной и индикатором "азимут – дальность". Он работает по принципу излучения мощных радиочастотных импульсов в узком секторе пространства, приема и усиления отраженных от наземных или воздушных объектов сигналов и их яркостной индикации на электронно-лучевой трубке с длительным послесвечением. Объекты, отраженные сигналы от которых принимает радиолокатор, могут быть различными – поверхностно-распределенными, объемно-распределенными или сосредоточенными ("точечными"), обеспечивающими достаточно сильное диффузное отражение радиосигналов трехсантиметрового диапазона длин волн. К ним, в частности, относятся незастроенные участки земной поверхности, застроенные участки (мелкие, средние и крупные населенные пункты), гидрометеообразования, мосты, плотины, отдельные крупные строения и т.д.

Функциональная схема радиолокатора приведена на рис. 3.1.

1 Излучение СВЧ-импульса. Синхронизация работы передающего канала радиолокатора осуществляется частотой 400 Гц питающей сети. Модулятор приемопередатчика 2БМ формирует высоковольтные импульсы, поступающие на магнетрон, который генерирует СВЧ-импульсы. Циркулятор служит для переключения антенны с приемного на передающий канал. Ферритовый вращатель плоскости поляризации служит для изменения поляризации высокочастотных колебаний. В зависимости от поляризации ВЧ колебаний отражателем антенного блока формируется либо веерная диаграмма, либо узкий луч.

2 Прием отраженных СВЧ-импульсов. Отраженные от радиоконтрастных целей сигналы (СВЧ-импульсы), принятые антенным блоком радиолокатора, по волноводному тракту через циркулятор, вентиль и разрядник защиты приемника поступают на смеситель канала сигнала. На смеситель поступает также СВЧ-сигнал от гетеродина. После преобразования с выхода смесителя импульсы промежуточной частоты поступают в УПЧ, где происходит усиление сигналов промежуточной частоты и их детектирование.

3 Автоматическая подстройка частоты. Схема АПЧ служит для поддержания постоянной разности частот магнетрона и гетеродина (промежуточной частоты). Часть СВЧ-энергии магнетронного генератора через предельный аттенуатор поступает на смеситель АПЧ. На смеситель также поступает СВЧ-сигнал от гетеродина. После преобразования на выходе смесителя образуются импульсы промежуточной частоты, которые поступают на вход блока АПЧ, который вырабатывает напряжение, пропорциональное отклонению промежуточной частоты от ее номинального значения. Это напряжение, воздействуя на управляющий электрод гетеродина, приводит к изменению его частоты, уменьшая отклонение промежуточной частоты от номинального значения.

4 Индикация сигналов. С выхода УПЧ приемопередатчика видеосигнал подается на вход видеоусилителя индикаторного блока. Характеристика видеоусилителя при работе радиолокаторов в режиме "Земля" ступенчатая, в режиме "Метео" – линейная с индикацией максимальных амплитуд сигналов в направлении каждого курсового угла. В видеоусилителе происходит усиление видеосигнала и смешивание его с калибровочными метками дальности, вырабатываемыми узлом развертки. Кроме того, в видеоусилителе из узла развертки поступает импульс подсвета, обеспечивающий подсвет прямого хода развертки на экране электронно-лучевой трубки. Усиленный видеосигнал, смешанный с калибровочными метками, поступает на электронно-лучевую трубку. С помощью схемы развертки на экране электронно-лучевой трубки создается радиально-секторная развертка в координатах "азимут – дальность".

5 Синхронизация работы каналов радиолокатора. Модулятор приемопередатчика генерирует импульсы бланкирования и старт-импульс, синхронизирующие работу индикаторного и приемного каналов радиолокатора. Старт-импульс формируется в момент излучения СВЧ-импульса. С выхода модулятора старт-импульс поступает на вход узла развертки блока управления и формирования развертки. Узел развертки вырабатывает пилообразный ток развертки и импульс подсвета, начало которых совпадает с моментом прихода старт-импульса, т.е. с моментом излучения СВЧ-импульса. Кроме того, узел развертки формирует калибрационные метки дальности, первая из которых совпадает с моментом излучения, т.е. является нулем дальности. Старт-импульсом осуществляется включение узла питания индикаторного блока.

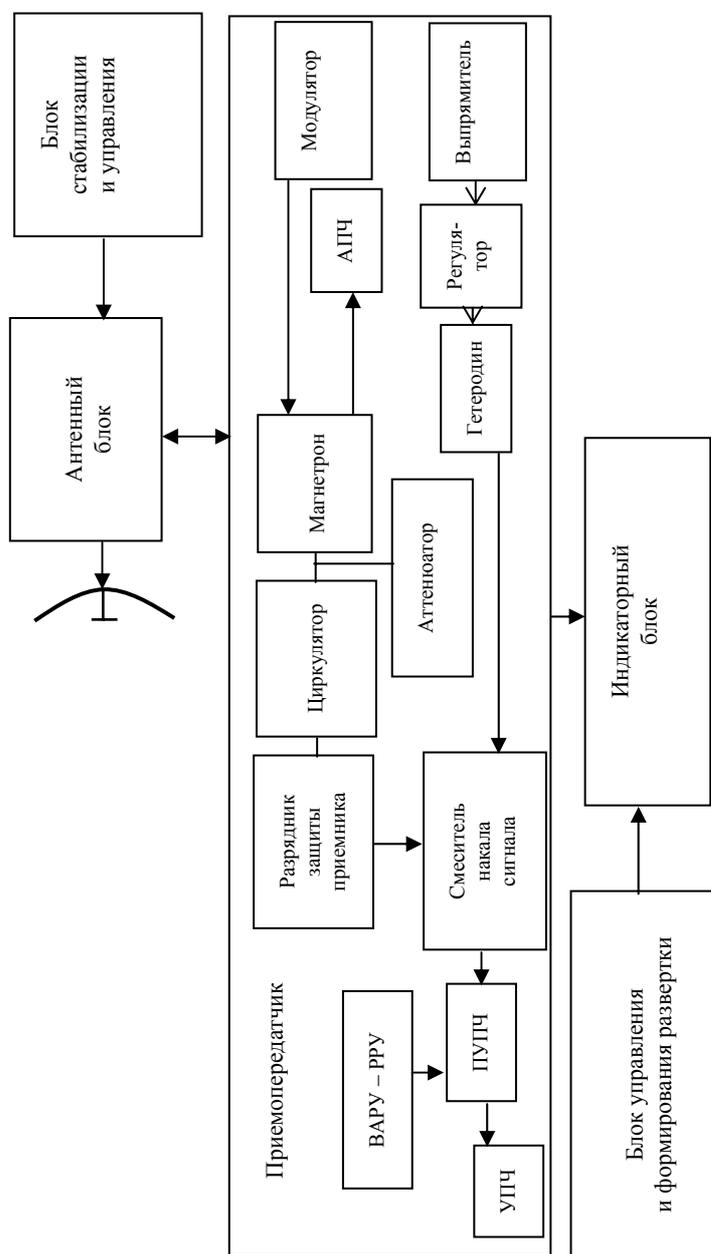


Рис. 3.1 Функциональная схема радиолокатора

Для определения угла сноса самолета за счет ветра имеется специальный индикатор, позволяющий по нулевым биениям доплеровской частоты определить направление движения самолета. Биения доплеровской частоты появляются при наличии рассогласования между вектором скорости движущейся РЛС и осью диаграммы направленности.

Доплеровское смещение частоты сигнала зависит от скорости самолета  $v_c$ , ориентации элемента относительно РЛС и составляет

$$\Delta f_d = \frac{2v_c}{\lambda} \cos \gamma,$$

где  $\gamma$  – угол между направлением на элемент и вектором скорости  $v_c$ ;  $\lambda$  – длина волны.

При движении РЛС вдоль оси диаграммы направленности разность доплеровских частот равна нулю.

Изменение ширины диаграммы направленности в вертикальной плоскости ("узкий" или "косеканс-квадрат") осуществляется с помощью параболического отражателя, ферритового обтекателя плоскости поляризации и специального козырька, прозрачного для вертикально-поляризованной волны (формирование узкого луча) и являющегося отражателем для горизонтально-поляризованной волны (формирование веерного, "косеканс-квадратного" луча).

Конструктивно РЛС состоит из следующих блоков:

1 Антенный блок служит для излучения в просматриваемое пространство импульсных СВЧ-колебаний трехсантиметрового диапазона длин волн, приема отраженных сигналов, а также выдачи данных об азимутальных и вертикальных положениях отражателя антенны, необходимых для решения задачи стабилизации луча в пространстве, формирования развертки луча на экране индикатора.

2 Приемопередатчик осуществляет генерацию мощных СВЧ-импульсов и усиление принятых сигналов и отраженных.

3 Индикаторный блок осуществляет усиление видеосигналов и их индикацию.

4 Блок управления и формирования развертки осуществляет формирование развертки, синхронизацию и управление режимами работы радиолокатора в целом.

5 Блок стабилизации и управления осуществляет стабилизацию зоны обзора радиолокатора в пространстве при кренах самолета.

6 Эквивалент отклоняющей системы предназначен для имитации в радиолокаторах, укомплектованных одним индикатором, отклоняющей системы второго индикаторного блока.

### Порядок выполнения работы

- 1 Включить выпрямители с 220 В, 50 Гц на 27 В.
- 2 На щитке выпрямителя включить поочередно преобразователи 115 В, 400 Гц – ПО – 500; 36 В, 400 Гц – ПТ – 125ц.
- 3 Включить выключатели на стенде радиолокатора 27 В, 115 В, 36 В – 400 Гц.
- 4 Включить на пульте управления локатора кнопку "Вкл.", установить режим "Готов".
- 5 Включить на стенде управления радиолокатора выключатель "Контроль".
- 6 Через 3 – 5 минут после включения питания на индикаторе должна появиться линия развертки.
- 7 Включить один из режимов "Контур" или "Земля", антенный блок должен сканировать, луч на индикаторе должен перемещаться на 180°.
- 8 Переключатель режимов на пульте управления установить в положение "Снос", при этом антенна должна остановиться и убедиться по линии развертки на индикаторе о прекращении сканирования; нажмите на блоке управления одну из клавиш, имеющую гравировку, и вращая по часовой стрелке регулятор "Скан", убедитесь в изменении скорости движения отражателя антенного блока по азимуту; визуально проверьте эффективность действия регуляторов "Яркость" и "Метки" индикаторов в соответствии с их назначением.
- 9 Определить расстояние между калибровочными метками дальности на экране индикатора во всех режимах работы радиолокатора.
- 10 Определить период следования импульсов меток.

### Содержание отчета

Название работы. Цель работы. Назначение и основные характеристики радиолокатора. Режимы работы "Гроза-М". Функциональная схема метеонавигационного радиолокатора. Указания по выполнению лабораторной работы. Результаты измерений и вычислений.

### Контрольные вопросы

- 1 Назначение метеонавигационного радиолокатора.
- 2 Назовите и охарактеризуйте режимы работы радиолокатора.
- 3 Перечислите тактико-технические данные радиолокатора.
- 4 Из чего конструктивно выполнен радиолокатор?
- 5 В чем заключается эффект Доплера?

- 6 Из каких основных частей состоит структурная схема радиолокатора?
- 7 Какие функции выполняют основные элементы радиолокатора?
- 8 Для чего нужны метки на шкале дальности?
- 9 Как с помощью радиолокатора определяется скорость движения самолета?
- 10 Что, по Вашему мнению, следовало бы изменить в данном радиолокаторе?

## **СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

- 1 Пестряков В.В., Кузенков В.Д. Радиотехнические системы: Учебник для вузов. М.: Радио и связь, 1985. 376 с.
- 2 Чердынцев В.А. Радиотехнические системы: Учеб. пособие. Минск: Высшая школа, 1988. 368 с.
- 3 Гришин Ю.П., Игнатов В.П. Радиотехнические системы / Под ред. Ю.М. Казаринова. М.: Высшая школа, 1990. 495 с.
- 4 Радиотехнические системы передачи информации / Под ред. В.В. Калмыкова. М.: Радио и связь, 1990. 302 с.