

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР  
КУЙБЫШЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
АВИАЦИОННОГО ИНСТИТУТА им. С. П. КОРОЛЕВА

**ИССЛЕДОВАНИЕ  
АВТОМАТИЧЕСКОГО  
РАДИОКОМПАСА**

КУЙБЫШЕВ 1982

Министерство высшего и среднего специального  
образования РСФСР  
Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени  
авиационный институт им. С.П.Королёва

ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАДИОКОМПАСА

Лабораторная работа № II

Куйбышев 1982

УДК 621.396.96

Составитель к.т.н. доцент К у з е н к о в В.Д.

Утверждена на редакционно-издательском  
совете института 12.12.80 г.

## АВТОМАТИЧЕСКИЙ РАДИОКОМПАС

Ц е л ь р а б о т ы состоит в изучении и экспериментальном исследовании принципа действия, устройства и свойств автоматического радиоконпаса АРК-15.

### 1. Т е о р е т и ч е с к и е о с н о в ы л а б о р а т о р н о й р а б о т ы

Автоматический радиоконпас устанавливается на борту летательных аппаратов (самолетов, вертолетов) и предназначается для измерения направления на наземные приводные или радиовещательные радиостанции и радиомаяки.

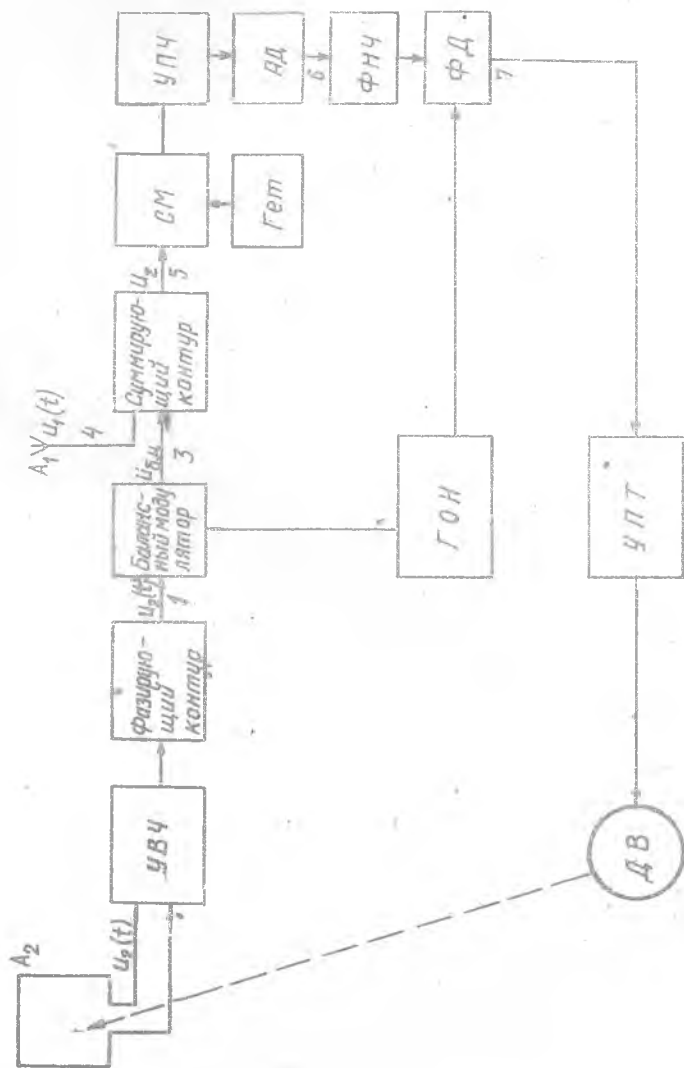
Для уяснения принципа действия радиоконпаса обратимся к упрощенной функциональной схеме устройств такого рода, изображенной на рис. 1. Эта схема может рассматриваться как классическая. По такой схеме выполнялись радиоконпасы более ранних моделей. В дальнейшем рассмотрим особенности, присущие радиоконпасу АРК-15.

Радиоконпас представляет собой автоматический радиопеленгатор, в котором для пеленгования используется метод сравнения амплитуд (равносигнальный метод). В литературе этот метод называют иногда методом пеленгования по минимуму коэффициента амплитудной модуляции. Антенная система радиоконпаса состоит из ненаправленной и направленной (рамочной) антенн. Характеристики направленности ненаправленной и направленной, соответственно, антенн имеют вид:

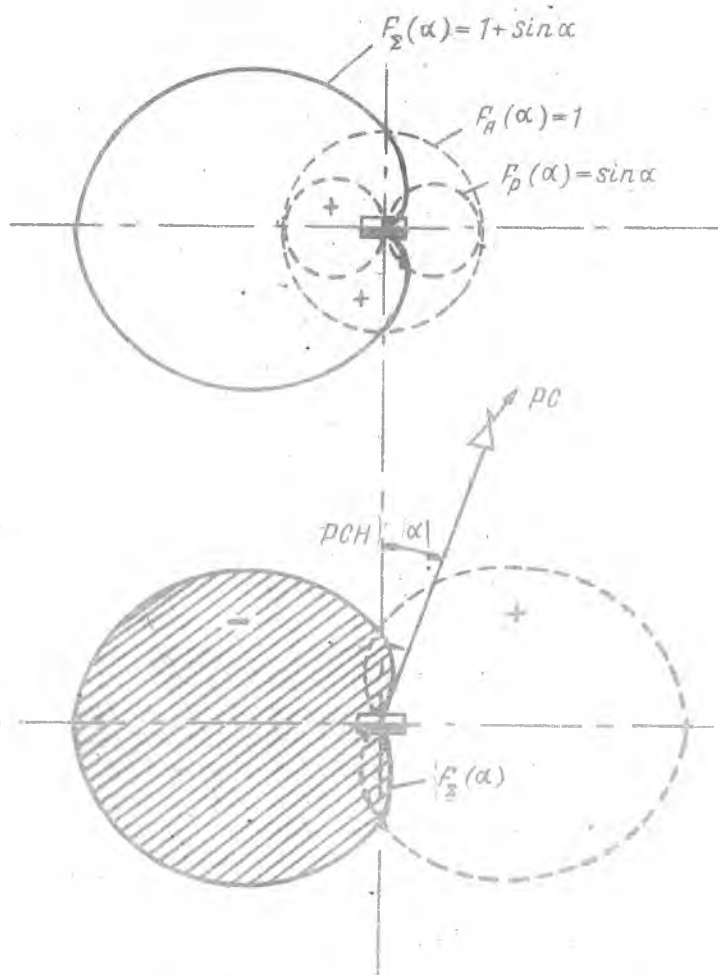
$$f_1(\theta) = 1;$$

$$f_2(\alpha, \beta) = \sin \alpha \cos \beta.$$

Углы  $\alpha$  и  $\beta$  измеряются в горизонтальной и вертикальной плоскостях, соответственно. В дальнейшем, если не оговорено особо, будем полагать  $\beta = 0$  и  $\cos \beta = 1$ . Характеристики направленности антенн изображены на рис. 2. Характеристика направленности рамки имеет резко выраженный минимум. Заметим, что фаза напряжения, снимаемого с ненаправленной антенны, не зависит от значения угла  $\alpha$ . Фаза напряжения, снимаемого с направленной антенны, изменяется на  $\pi$  при изменении стороны уклонения относительно



Р и с. 1. Упрощенная функциональная схема автоматического радиокompаса



Р и с. 2. Характеристики направленности антенн

но направления  $\alpha = 0$ . Последнее утверждение следует из того, что синус есть функция нечетная. При изменении угла отклонения от  $+ \alpha$  до  $- \alpha$  знак синуса изменяется на обратный, что эквивалентно изменению фазы в, ч. сигнала на  $\pi$ . Вследствие этого сигналы ненаправленной и направленной антенны в секторе углов  $\alpha = 0 \pm 180^\circ$  синфазны и при суммировании будут складываться, а в секторе углов  $\alpha = 0 \pm (-180)$  противофазны и будут вычитаться. Результатирующая характеристика направленности антенной системы имеет вид кардиоиды. При периодической коммутации фазы сигнала одной из антенн на  $\pm \pi$  лепесток кардиоиды "перебрасывается", образуя тем самым равносигнальное направление.

Равносигнальное направление имеет два луча с углом между ними  $180^\circ$ . При этом возможна неопределенность измерений. Однако в автоматическом радиопеленгаторе ошибка пеленгования на  $180^\circ$  не возникает, так как только один из указанных лучей соответствует устойчивому состоянию равновесия системы.

Явления, имеющие место в радиоконпасе, несколько сложнее описанных выше. Будем полагать для простоты, что пеленгуемая радиостанция изучает тональный сигнал. В самом деле радиостанция изучает модулированные колебания, передает связную или другую информацию, либо позывной сигнал. При принятом предположении можно написать для сигнала ненаправленной антенны

$$u_1(t) = U_{m1} \sin \omega t$$

и для сигнала рамки

$$u_2(t) = U_{m2} \sin \alpha \cos \omega t.$$

Сигнал, снимаемый с рамочной антенны, имеет сдвиг по фазе относительно поля в центре рамки  $\pi/2$ , а сигнал, снимаемый с открытой антенны, имеет фазу, совпадающую с фазой поля. Поэтому напряжения  $u_1$  и  $u_2$  сдвинуты по фазе на  $\pi/2$ . Этот фазовый сдвиг компенсируется в усилителе рамки (фазирующем контуре), на выходе которого

$$u_2(t) = U_{m2} \sin \alpha \sin \omega t.$$

Балансный модулятор, выполняющий функции коммутатора фазы сигнала рамки, преобразует гармоническое колебание в две составляющие

боковых частот амплитудной модуляции (без несущей):

$$U_{\sigma M}(t) = \frac{K_M U_{m2}}{2} \sin \alpha [\sin(\omega + \Omega)t + \sin(\omega - \Omega)t],$$

где  $K_M$  - коэффициент передачи балансного модулятора,  $\Omega$  - частота опорного сигнала, создаваемого звуковым генератором. Амплитуду опорного сигнала полагаем равной единице. В суммирующем контуре происходит сложение сигналов  $U_1(t)$  и  $U_{\sigma M}(t)$ . В результате образуется сигнал

$$U_2(t) = U_{m1} (1 + m \sin \alpha \cos \Omega t) \sin \omega t,$$

где

$$m = K_M \frac{U_{m2}}{U_{m1}}.$$

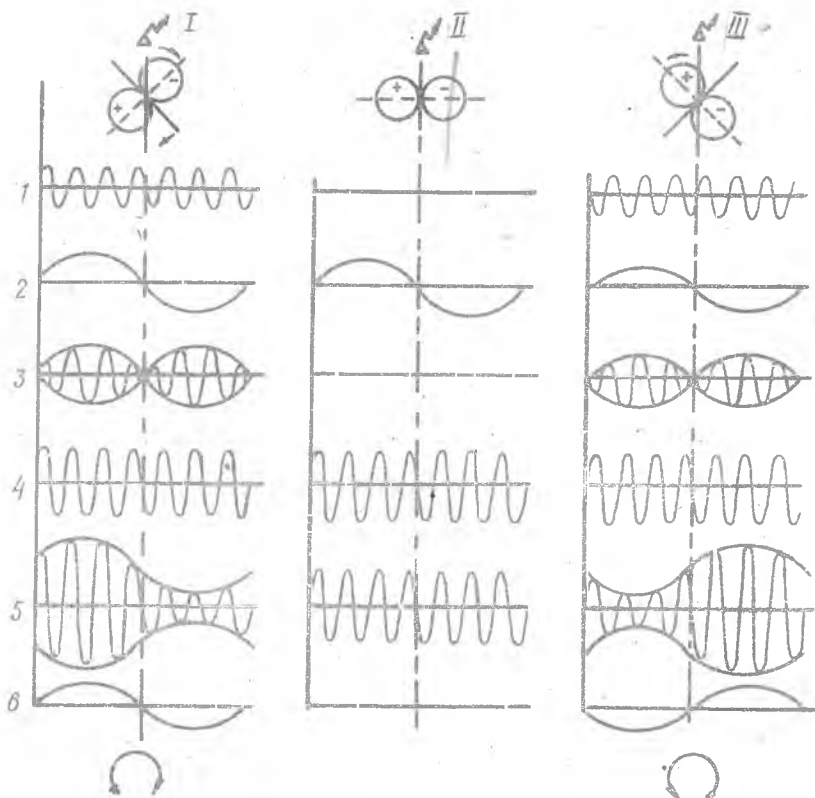
Сигнал  $U_2(t)$ , действующий на входе приемника, модулирован по амплитуде. Величина модуля коэффициента амплитудной модуляции этого сигнала

$$M = m |\sin \alpha|$$

определяется степенью уклонения направления на пеленгуемую радиостанцию относительно равносигнального направления, а его фаза - стороной уклонения. В направлении пеленга рамочный сигнал исчезает, и сигнал в приемнике становится немодулированным. При возникновении уклонения появляется амплитудная модуляция. При изменении стороны уклонения фаза модуляции изменяется на  $\pi$ . Эпюры напряжений в характерных точках радиокompаса приведены на рис. 3. На этом рисунке 1 - напряжение от рамки; 2 - опорное напряжение звукового генератора; 3 - напряжение балансного модулятора; 4 - напряжение от открытой антенны; 5 - напряжение на входе приемника; 6 - напряжение на выходе детектора приемника.

Сигнал  $U_2(t)$  фильтруется и усиливается в приемнике, а затем детектируется амплитудным детектором. Детектор и последующий ФНЧ выделяют огибающую АМ, которая представляет собой низкочастотный сигнал частоты  $\Omega$ . Амплитуда этого сигнала определяется степенью уклонения и в направлении точного пеленга равна нулю. В зависимости от стороны уклонения его фаза либо совпадает с фазой опорного напряжения, либо отличается на  $\pi$ .



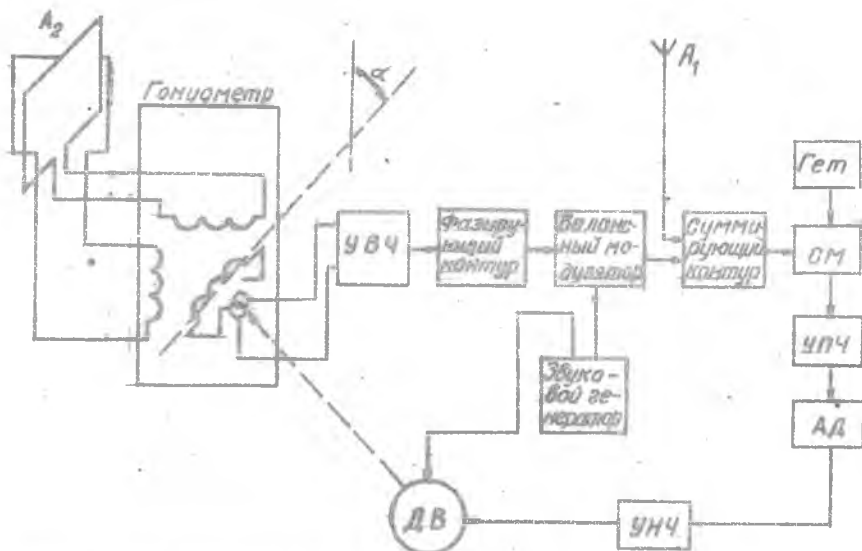


Р и с. 3. Эпюры напряжений в характерных точках радиоконпаса

Продетектированный сигнал и опорное напряжение поступает на фазовый детектор. На выходе фазового детектора возникает постоянное (медленно-изменяющееся) напряжение, величина которого определяется отклонением направления на радиостанцию от направления точного пеленга, а полярность - стороной отклонения. Это управляющее напряжение подается на силовой привод рамочной антенны, состоящей из усилителя постоянного тока и реверсивного электрического

двигателя (см.рис. I). Двигатель устанавливает рамку в положение, в котором управляющее напряжение равно нулю и минимум характеристики направленности рамки сориентирован в направлении пеленгуемой радиостанции.

Автоматический радиокompас представляет собой замкнутую систему автоматического управления (следящую систему). В динамике эта система осуществляет автоматическое слежение за направлением на выбранную радиостанцию. Выбор радиостанции осуществляется путем настройки приемника радиокompаса на частоту радиостанции. Теперь обратимся к упрощенной функциональной схеме радиокompаса АРК-15 (рис. 4) и рассмотрим ее отчасти от схемы, приведенной выше.



Р и с. 4. Упрощенная функциональная схема радиокompаса АРК-15

В радиокompасе АРК-15 в качестве направленной антенны используется система, состоящая из двух взаимно перпендикулярных неподвижных рамки и гониметра. Эта система эквивалентна одной подвижной (вращающейся) рамке.

Одна из рамок располагается вдоль строительной оси самолета, другая - перпендикулярно к ней. Гониметр состоит также из двух вза-

имно перпендикулярных полевых (статорных) обмоток и искательной (роторной) обмотки. Полевые обмотки гониометра запитываются от катушек рамок.

На каждую из двух взаимно перпендикулярных рамок наводятся напряжения, амплитуды которых определяются выражениями:

$$U_1 = E h_{g1} \sin \alpha ;$$

$$U_2 = E h_{g2} \cos \alpha ,$$

где  $E$  - максимальное значение напряженности поля в точке приема;

$h_{g1}, h_{g2}$  - действующие высоты рамок 1,2 антенн;  $\alpha$  - угол между продольной осью самолета и направлением на радиостанцию.

Создаваемые напряжениями  $U_1$  и  $U_2$  точки в полевых обмотках гониометра и возникающие вокруг них магнитные поля  $H_1$  и  $H_2$  пропорциональны этим напряжениям.

Результирующее магнитное поле  $H$  равно геометрической сумме полей  $H_1$  и  $H_2$ . Модуль вектора поля  $H = \sqrt{H_1^2 \cos^2 \alpha + H_2^2 \sin^2 \alpha}$  и фаза  $\Phi = \arctg(H_1 \sin \alpha / H_2 \cos \alpha)$ .

В частном случае идентичности рамок  $H_1 = H_2$  и, следовательно,  $\Phi = \alpha$ .

Таким образом, направление вектора магнитного поля составляет с нормалью к плоскости первой полевой обмотки гониометра угол  $\Phi$ , равный углу  $\alpha$ , который составляет направление прихода радиоволны, с плоскостью первой рамки антенны.

Напряжение на клеммах искательной обмотки гониометра определяется ее ориентацией относительно вектора результирующего поля так же, как э.д.с. на клеммах подвижной рамки зависит от ее ориентации относительно вектора напряженности электромагнитного поля. Вращение искательной обмотки гониометра эквивалентно вращению рамки. Таким образом система, состоящая из двух взаимно перпендикулярных неподвижных рамок и гониометра, эквивалентна подвижной рамочной антенне. Однако в конструктивном отношении такая система обладает преимуществами: антенна может быть выполнена теллостойкой, устойчивой к механическим воздействиям; для вращения искательной обмотки гониометра требуется силовой привод меньшей мощности.

Второе отличие радиокompаса АРК-15 состоит в устройстве его выходной части. Для вращения искательной обмотки гониометра используется маломощный двухфазный реверсивный двигатель переменного тока. Одна фаза двигателя запитывается опорным напряжением от звукового генератора. Вторая фаза двигателя запитывается усиленным напряжением низкой частоты  $\Omega$ , снимаемым с детектора приемника. Фазовый детектор в схеме АРК-15 отсутствует. Роль фазового детектора выполняет реверсивный электродвигатель. При изменении фазы выходного напряжения приемника на  $\pi$  направление вращения двигателя изменяется на обратное. При нулевом выходном напряжении приемника двигатель, естественно, находится в состоянии покоя.

В остальном принцип действия радиокompаса АРК-15 аналогичен принципу действия классической модели компаса.

### 1.1. Устройство автоматического радиокompаса АРК-15

Радиокompас АРК-15 выполнен на транзисторах, плоских микро-модулях и полупроводниковых микросхемах. Принципиальная электрическая схема радиокompаса достаточно сложна. Изучение ее выходит за рамки настоящей работы. Поэтому далее устройство АРК рассматривается на уровне функциональных схем. Исключение составляют входные в.ч. цепи, с помощью которых формируется суммарная характеристика направленности радиокompаса.

Функциональная схема радиокompаса АРК-15 приведена на рис.5 (см. вкладку).

#### Рамочная антенна и гониометр

Рамочная антенна включает в себя две многосвитковые обмотки, имеющие общий ферритовый сердечник. Обмотки расположены взаимно перпендикулярно. Рамочная антенна залита ударно-теплостойкой пеномассой и представляет собой единую монолитную конструкцию. Действующая высота рамки в рабочем диапазоне волн АРК составляет 1-20 мм. К антенному устройству принадлежит "эквивалент кабеля рамки", с помощью которого компенсируется различие в длинах кабеля при размещении радиокompаса на ЛА различных типов.

Блок гониометра представляет собой единый кинематический узел, состоящий из бесконтактного гониометра ПГС-2, электродвигателя

ДТМ-0,4Н, тахогенератора 4-МТ-ТхГ, бесконтактного вращающегося синусно-косинусного трансформатора ВСКТ-220-1Д и редуктора.

Собственно гониометр включает в себя две взаимно перпендикулярные неподвижные полевые обмотки и подвижную искательную. Полевые обмотки запитываются сигналами рамок направленной антенны. Сигнал с выхода искательной обмотки подается на вход усилителя сигнала рамки (рамочный усилитель). Вращение искателя осуществляется через редуктор электродвигателя. Синусно-косинусный трансформатор служит для передачи углового положения искателя на указатель пеленга радиоконпаса. Тахогенератор используется в схеме стабилизации следящей системы радиоконпаса.

### Входные высокочастотные цепи

Входные высокочастотные цепи имеют многоканальное построение по числу поддиапазонов в рабочем диапазоне АРК. Принципиальная электрическая схема канала изображена на рис. 6. Отметим, что конструктивно монтаж схемы радиоконпаса размещен на отдельных панелях (субблоках). Часть, размещенная на одной панели, на схеме рис. 6 (см. вкладку) обведена пунктирной линией. Нумерация элементов принципиальной схемы в пределах каждой панели начинается заново. Поэтому при отыскании того или иного элемента схемы рекомендуется сначала найти функциональный узел, к которому принадлежит этот элемент, а затем искать сам элемент.

Сигнал от гониометра через реле переключения поддиапазонов поступает на входной (рамочный) контур. Этот контур настраивается на частоту принимаемого сигнала и выполняет функции преселектора. Перестройка рамочного контура по частоте осуществляется варикапом Д1. Заметим, что все другие контуры перестраиваются также варикапами. Далее следует рамочный усилитель, собранный на транзисторе ДП1 по схеме с общим эмиттером. Усиление рамочного сигнала необходимо вследствие того, что действующая высота рамки существенно меньше действующей высоты ненаправленной антенны. С выхода усилителя сигнал поступает на фазосдвигающую RC-цепь (R 8, C 8, C 9), с помощью которой осуществляется сдвиг фазы сигнала рамки на  $\pi/2$ . Тем самым компенсируется сдвиг фаз сигналов рамки и открытой антенны, о котором упоминалось выше. Затем сигнал поступает на фазоинверсный каскад, выполненный на микро модуле типа I 302. Резисторы R 9 и R 10 являются нагрузочными по

коллектору и эмиттеру, соответственно. Два противофазные напряжения сигнала поступают на диодный балансный модулятор, собранный на диодах Д4, Д5. На эти диоды синфазно также подается через резисторы  $R_{11}$ ,  $R_{12}$  опорное напряжение низкой частоты 135 Гц от звукового генератора. Это напряжение поочередно открывает и закрывает диоды модулятора. При этом фаза в.ч. сигнала, снимаемого с нагрузки  $R_{15}$  балансного модулятора, дважды изменяется на  $180^\circ$  за период опорного сигнала 135 Гц. Это явление и составляет эффект балансной модуляции. Резисторы  $R_{11}$ ,  $R_{12}$  и конденсатор  $C_{14}$  служат для развязки по высокой частоте, а с помощью резисторов  $R_{13}$ ,  $R_{14}$  осуществляется балансировка балансного модулятора.

Выходное напряжение балансного модулятора усиливается усилителем, собранным на микромодуле 1Э02 по схеме с общей базой. Далее сигнал поступает в контур сложения, где происходит сложение сигналов рамки и открытой антенны. В результате получается амплитудно-модулированный сигнал. Глубина модуляции определяется соотношением амплитуд слагаемых сигналов и возрастает с увеличением рамочного сигнала.

Сигнал с открытой антенны поступает в контур сложения через антенное согласующее устройство (АСУ) и антенный усилитель. АСУ служит для согласования самолетной ненаправленной антенны со входом приемного устройства с учетом влияния антенного кабеля и разброса действующих высот ненаправленной антенны. АСУ представляет собой составной двухкаскадный эмиттерный повторитель, первый каскад которого выполнен на полевом транзисторе, а второй — на биполярном. Полевой транзистор по сравнению с биполярным обладает меньшим уровнем шумов и большим входным сопротивлением, что обеспечивает большую чувствительность приемника по входу с открытой антенны. Конденсаторы  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$  совместно с конденсатором  $C_1$  и емкостью антенны создают емкостной делитель. Величина коэффициента передачи этого делителя изменяется в зависимости от значения действующей высоты открытой антенны путем коммутации конденсаторов  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$ . АСУ конструктивно оформлено отдельно от приемника и размещается у выхода открытой антенны. Антенный усилитель представляет собой усилительный каскад, выполненный на биполярном транзисторе по схеме с общим эмиттером. Коллекторный нагрузкой этого каскада является контур сложения.

Контур сложения (фильтр 1) совместно с двумя связанными контурами (фильтры 2 и 3) образуют фильтр сосредоточенной селекции (ФСС). Назначение ФСС — выравнивание коэффициента передачи сигнала

лов в пределах поддиапазона. Это достигается путем изменения величины связей контуров. В качестве элементов связи используются варикапы, емкость которых изменяется при перестройке приемника в зависимости от значения рабочей частоты. Выходным элементом входных в.ч. цепей является согласующий составной эмиттерный повторитель (фильтр 4), нагрузкой которого являются связанные контуры, с помощью которых осуществляется связь входных цепей со смесителем приемника.

#### Супергетеродинальное приемное устройство

Приемное устройство АРК выполнено по супергетеродинальной схеме. Входная часть приемника (смесителя и гетеродина) имеет многоканальное исполнение, тракты ПЧ и НЧ — одноканальные (см.рис.5). Гетеродин включает в себя  $\angle C$  — автогенератор и усилитель. Контур гетеродина перестраивается с помощью варикапа.

Особенностью радиокompаса АРК-15 является то, что частота гетеродина и частота настройки входных в.ч. цепей изменяются скачкообразно — ступенями по 500 Гц. Управляющие напряжения на варикапы подаются с блока сетки частот (БСЧ). В БСЧ имеется устройство стабилизации частоты гетеродинов, которое позволило отказаться от термостатирования гетеродинов, что уменьшает вес и габариты АРК. Напряжение гетеродина подается на смеситель и в БСЧ. Смеситель собран по диодно-кольцевой схеме. Промежуточная частота составляет 500 кГц. В тракте промежуточной частоты (ПЧ) используются аperiodические широкополосные усилительные каскады. Избирательность тракта ПЧ обеспечивается за счет включения в него высокочастотного магнитоотрицательного электромеchanического фильтра. Полоса пропускания фильтра составляет 2,7 кГц на частоте 500 кГц.

Тракт ПЧ охвачен задержанной автоматической регулировкой усиления. АРУ осуществляется с помощью нелинейных управляемых диодных делителей напряжения (УДН), включенных в тракт ПЧ. Управляющее напряжение на УДН подается с выхода цепи, состоящей из детектора АРУ и усилителя постоянного тока. Оконечными элементами тракта ПЧ являются амплитудные детекторы: упомянутый выше детектор АРУ и детектор сигнала.

Детектор сигнала выделяет из сигнала ПЧ отгибающую его амплитудной модуляции. Спектр протектированного сигнала обычно имеет сложную структуру: наряду с составляющей частоты опорного

сигнала 135 Гц, в нем имеются составляющие более высоких частот, несущие связанную информацию. С выхода детектора сигнал поступает на вход ПЧ тракта радиокompаса.

### Тракт низкой частоты

Тракт низкой частоты радиокompаса имеет два канала: усилитель низкой частоты телефонного канала и усилитель компасного канала.

Входным элементом телефонного канала является управляемый диодный делитель напряжения. Он предназначен для дистанционной регулировки громкости. Управляющее напряжение, с помощью которого изменяется коэффициент передачи делителя, поступает с пульта управления от потенциометра "Громкость". Далее следует предварительный усилитель низкой частоты и усилитель мощности. К последнему подключены телефоны. Частотная характеристика усилителя телефонного канала в области низких частот имеет частоту среза выше 135 Гц. Поэтому компасный сигнал частоты 135 Гц, снимаемый с детектора приемника совместно со связными сигналами, подавляется усилителем и не вносит помех.

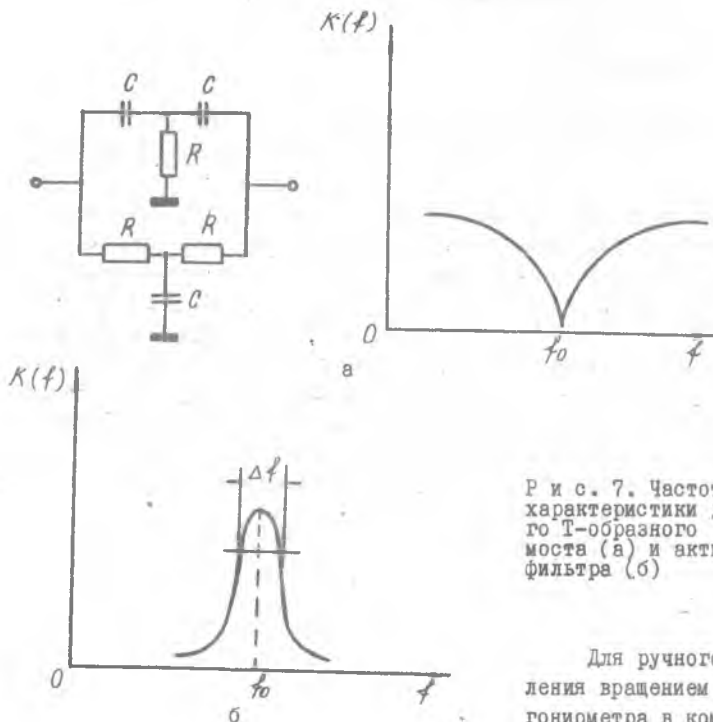
Рассмотрим устройство и работу компасного канала. В компасном канале, в отличие от телефонного, должны выделяться сигнал и подавляться связанная информация. Для этой цели на входе компасного канала включен RC-фильтр нижних частот, частота среза которого составляет 400 Гц. Далее следует активный полосовой фильтр-двухкаскадный полосовой усилитель, охваченный частотно-избирательной отрицательной обратной связью. Первый каскад этого усилителя - эмиттерный повторитель, второй - собран по схеме с общим эмиттером. В качестве цепи частотно-избирательной обратной связи используется двойной T-образный RC-мост. Типовая частотная характеристика такого моста приведена на рис. 7,а.

Мост имеет на частоте 135 Гц минимальный коэффициент передачи. Следовательно, на этой частоте отрицательная обратная связь минимальна и усилитель имеет максимальный коэффициент усиления. Ориентировочная частотная характеристика активного фильтра приведена на рис. 7,б. Полоса пропускания фильтра составляет 40 Гц.

Отфильтрованный с помощью ФНЧ и активного фильтра сигнал поступает на транзисторный усилительный каскад, собранный по схеме с общим эмиттером.



Схема радиокompаса допускает неавтоматическое дистанционное вращение ротора гониометра (характеристики направленности антенной системы) оператором с пульта управления - "ручное" вращение.



Р и с. 7. Частотные характеристики двойного Т-образного RC-моста (а) и активного фильтра (б)

Для ручного управления вращением ротора гониометра в компасный канал через фазовращательную цепь вводится переменное напряжение частоты 135 Гц. Фазовращательная цепь осуществляет сдвиг этого напряжения на  $90^\circ$ . Этот сдвиг фазы необходим по следующим причинам.

В двухфазном электродвигателе переменного тока, который используется для привода ротора гониометра, при создании вращательного момента необходимо, чтобы напряжения питания статорной и роторной обмоток имели сдвиг фазы  $90^\circ$ . Так как напряжения питания статорной обмотки и напряжение ручного вращения, подаваемое далее в роторную обмотку двигателя, берутся от одного источника - звукового генератора, то указанный выше сдвиг фазы необходим.

Напряжение ручного вращения, вводимое в компасный канал, имеет амплитуду (4,5В), значительно большую амплитуды сигнала рассогласования. При введении этого напряжения происходит "ручное" вращение искателя гониометра независимо от наличия сигнала рассогласования.

Выше говорилось о скоростной отрицательной обратной связи, предназначенной для стабилизации замкнутой системы автоматического регулирования, которую представляет собой автоматический радиокompас. Напряжение обратной связи, амплитуда которого пропорциональна скорости вращения исполнительного электродвигателя, вырабатывается тахогенератором и вводится в компасный канал через усилитель тахогенераторного сигнала. Глубина отрицательной обратной связи регулируется с помощью потенциометра "отзывчивость". Далее следует предварительный усилитель и парафазный усилитель мощности. Усилитель мощности нагружен на управляющую (роторную) обмотку электродвигателя.

К низкочастотным цепям АРК относится также звуковой генератор (ЗГ) - источник опорного напряжения 135 Гц. ЗГ управляет балансным модулятором радиокompаса, переключая фазу сигнала рамочной антенны на  $180^{\circ}$  в каждом периоде звуковой частоты. Выходное напряжение ЗГ подается также на обмотку возбуждения электродвигателя ДГМ-0,4Н привода вращающейся катушки гониометра.

ЗГ представляет собой двухтактный *RC* - автогенератор, собранный на двух транзисторах типа П701А. Выходное напряжение ЗГ снимается через трансформатор, индуктивность первичной обмотки которого используется в резонансном контуре генератора.

#### Устройство формирования сетки гетеродинных частот

Как указывалось выше, перестройка приемника по диапазону при настройке его на частоту принимаемого сигнала происходит не непрерывно, а дискретно с шагом 500 Гц. Формирование сетки гетеродинных частот производится с помощью блока сетки частот (БСЧ). Сетка частот включает в себя 3300 частот с указанным выше шагом. БСЧ обеспечивает перестройку гетеродина по диапазону и стабилизацию его частоты во всех значениях сетки частот.

Устройство формирования сетки частот представляет собой замкнутую цифровую систему автоматического управления (следящую систему).

БСЧ включает в себя измерительную и исполнительную части. Измерительная часть осуществляет сравнение частоты гетеродина приемника с частотой кварцевого гетеродина, который имеется в БСЧ. Если частота гетеродина приемника отличается от требуемой, то вырабатывается соответствующий сигнал ошибки. Исполнительная часть преобразует сигнал ошибки в управляющее напряжение. Под воздействием управляющего напряжения гетеродин приемника перестраивается. При этом сигнал ошибки минимизируется и частота гетеродина приемника принимает требуемое значение. Так как кварцевый гетеродин обладает высокой стабильностью, то, наряду с перестройкой, обеспечивается стабилизация частоты гетеродина приемника.

В самых общих чертах принцип действия устройства заключается в следующем. В измерительной части БСЧ вырабатываются два импульса, длительности которых определяются значениями частот кварцевого гетеродина и гетеродина приемника, соответственно. Ниже длительность первого из этих импульсов полагается равной  $\tau_K$ , а второго —  $\tau_2$ . Отметим, что соотношение между частотой кварцевого генератора и длительностью импульса  $\tau_K$  постоянно. Соотношение между частотой гетеродина приемника и длительностью импульса  $\tau_2$  может изменяться оператором. Тем самым обеспечивается возможность установки и стабилизации частоты гетеродина во всех 3300 точках упомянутой выше сетки частот. Затем эти импульсы сравниваются по длительности. Импульсы, полученные в результате сравнения, имеют длительность, равную разности длительностей сравниваемых импульсов. При сравнении учитывается также знак разности. Разностные импульсы и представляют собой сигнал ошибки (расогласования).

В исполнительной части импульсы расогласования преобразуются в постоянное управляющее напряжение. Управляющее напряжение подается на варикапы резонансной системы гетеродина приемника и изменяет тем самым его частоту таким образом, чтобы длительность импульса уравнилась с величиной  $\tau_K$ . Таким образом, система управления замыкается. Рассматриваемая система является дискретной: указанные выше импульсы вырабатываются периодически с периодом 80 мс.

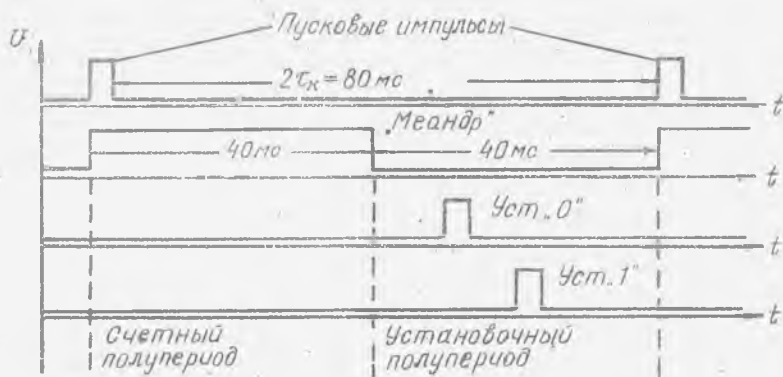
Из теории автоматического управления известно, что хорошие динамические характеристики достигаются в астатических замкнутых

системах управления. В простейших системах с астатизмом первого порядка в контуре управления имеется один интегратор.

Для обеспечения астатизма в управляющей части системы осуществляется цифровое интегрирование (суммирование) импульсов рассогласования. Вследствие этого величина управляющего напряжения в некоторый момент времени определяется значениями сигнала ошибки не только в текущем такте работы системы, но и в предшествующих тактах. Иначе, система обладает "памятью".

Рассмотрим принцип действия БСЧ по функциональной схеме рис. 5.

Кварцевый генератор работает на фиксированной частоте 25,6кГц. Гармонические колебания кварцевого гетеродина с помощью диодной формирующей цепи преобразуются в последовательность импульсов, которая поступает на вход делителя частоты. Делитель включает в себя II счетных триггеров и имеет коэффициент деления  $2^{11} = 2048$ . На выходе делителя образуется напряжение вида "меандр" частоты 12,5 Гц с периодом следования 80 мс (рис. 8). Период следования



Р и с. 8. Эпюры напряжений в точках схемы кварцевого генератора и делителя

меандра, определяющий периодичность работы всего устройства, распадается на два полу периода: счетный и установочный. Импульс длительностью  $\tau_k = 40 \text{ мс}$ , составляющий счетный полу период меандра, используется как импульс кварцевого гетеродина при сравнении дли-

тельностью импульсов, о котором речь велась выше. Импульс  $\tau_k$  подается на схемы совпадения СС-1 и СС-2. В делителе частоты кварцевого гетеродина формируются пусковые импульсы, а с помощью сопряженных с делителем двух схем "И" - импульсы .... "Уст. 0" и "Уст. 1". Пусковые импульсы создаются в начале каждого цикла работы системы, а импульсы "Уст. 0" и "Уст. 1" - в течение установочного полупериода (см. рис. 8). На работе устройства в течение установочного полупериода и на назначении импульсов "Уст. 0" и "Уст. 1" остановимся ниже.

Под воздействием пускового импульса срабатывает триггер управления, импульсом которого открывается ключ "Кл".

Гармоническое колебание гетеродина приемника поступает в усилитель-формирователь, где из этого колебания формируется последовательность импульсов. Эти импульсы через открытый ключ "Кл" поступают на вход двоично-десятичного счетчика.

Емкость счетчика составляет 80000 импульсов и превышает величину  $f_{2\text{ макс}} \tau_k$ , где  $f_{2\text{ макс}}$  - максимальное значение частоты гетеродина и  $\tau_k = 40$  мс.

Последовательность импульсов заполняет счетчик. По достижении числом импульсов некоторого фиксированного значения  $M$ , срабатывает дешифратор. Импульс дешифратора возвращает триггер управления в исходное состояние. При этом ключ "Кл" закрывается и поступление импульсов на вход счетчика прекращается. На этом счетный полупериод работы устройства заканчивается.

Счетчик выполняет функции делителя частоты следования импульсов, сформированных из колебания гетеродина приемника.

Работу счетчика в качестве делителя частоты следует понимать в том смысле, что последовательности входных импульсов сопоставляется один выходной импульс, длительность  $\tau_2$  которого определяется временем заполнения счетчика. Этот импульс снимается с триггера управления и используется в дальнейшем для сравнения по длительности с импульсом кварцевого гетеродина  $\tau_k$ . Счетчик имеет переменный коэффициент деления. Изменение коэффициента деления происходит следующим образом. В исходном состоянии в счетчик записывается некоторое число  $N_{нач}$ . Тогда для заполнения счетчика до числа  $M$  требуется  $M - N_{нач}$  импульсов. Если полагать, что время заполнения счетчика (длительность импульса  $\tau_2$ ) осталось неизменным, то введение  $N_{нач}$  эквивалентно соответствующему

уменьшению частоты гетеродина приемника. Так как рассматриваемая замкнутая система управления уравнивает длительности импульсов  $\tau_K$  и  $\tau_2$ , то введением различных значений  $N_{нач}$  можно управлять номинальным (требуемым) значением частоты гетеродина приемника и тем самым осуществлять перестройку приемника по диапазону рабочих частот.

Практически это делается так: в пульте управления АРК имеется наборное устройство, с помощью которого производится настройка приемника на рабочую волну. Наборное устройство выдает некоторый "набор" постоянных напряжений, однозначно соответствующий требуемой частоте настройки. Эти напряжения подаются на схемы "И", с помощью которых осуществляется запись в счетчик числа  $N_{нач}$ . Запись  $N_{нач}$  производится параллельным способом: каждому разряду (декаде) счетчика соответствует схема "И", и запись "1" во все разряды счетчика может осуществляться одновременно. Заметим, что на функциональной схеме (см. рис. 5) обозначена одна схема "И". Практически это многоходовая микросхема, включающая в себя несколько схем "И".

Выше указывалось, что с делителя частоты кварцевого гетеродина снимаются два импульса "Уст.0" и "Уст.1". Эти импульсы вырабатываются во время установочного подпериода работы БСЧ. Импульсом "Уст.0" производится обнуление счетчика. Импульсы "Уст.1" воздействуют на триггеры счетчика через схемы "И" и вводит "1" в те разряды счетчика, на соответствующие схемы "И" которых с наборного устройства подается разрешающее напряжение. Таким образом, осуществляется запись числа  $N_{нач}$ .

Сброс счетчика, запись  $N_{нач}$  и счет числа импульсов гетеродина приемника повторяются в устройстве в каждом периоде его работы.

Выше указывалось, что импульсы длительностью  $\tau_K$  и  $\tau_2$  поступают на схемы сравнения СС-1 и СС-2. На выходе схем сравнения возникает импульс рассогласования, длительность которого равна разности  $\tau_K$  и  $\tau_2$ , причем, если  $\tau_2 > \tau_K$ , то импульс возникает на выходе СС-1, а при обратном соотношении - на выходе СС-2. Таким образом учитывается знак рассогласования. В обоих случаях длительность импульса рассогласования пропорциональна отклонению частоты гетеродина от требуемой при данной настройке приемника. Импульсы рассогласования поступают в исполнительную часть БСЧ на

входы вспомогательных генераторов ВГ-1 и ВГ-2 соответственно. Вспомогательные генераторы преобразуют временный интервал (длительность импульсов рассогласования) в число (последовательность импульсов). Эти генераторы представляют собой заторможенные мульти-вibrаторы, которые растормаживаются во время действия импульсов рассогласования и генерируют импульсы с высокой частотой повторения. При этом временной интервал "заполняется" последовательностью импульсов.

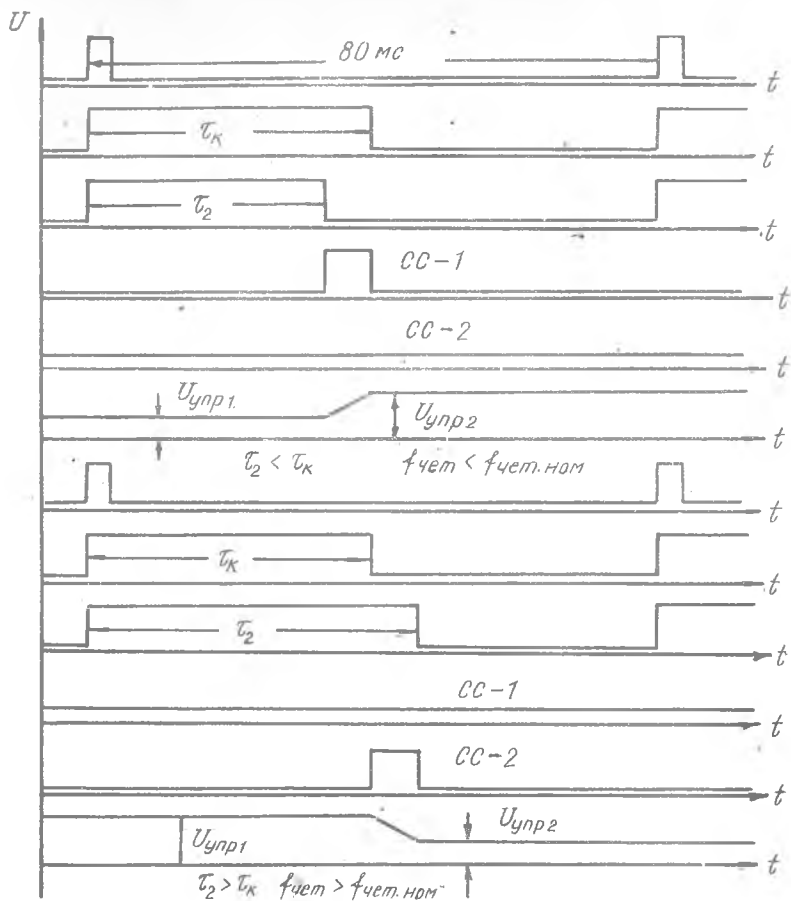
Импульсы от ВГ-1 поступают на суммирующий вход реверсивного счетчика, а от ВГ-2 - на вычитающий вход. Таким образом, число, зафиксированное в счетчике при  $\tau_2 > \tau_K$ , увеличивается на число импульсов ВГ-1, пропорциональное длительности импульса рассогласования. При  $\tau_2 < \tau_K$  число, зарегистрированное в счетчике, уменьшается. Показания реверсивного счетчика сохраняются, а не сбрасываются от периода к периоду работы устройства. Поэтому этот счетчик выполняет функции цифрового интегратора. Цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) предназначен для преобразования числа, находящегося в реверсивном счетчике, в пропорциональное ему напряжение. Цифро-аналоговый преобразователь выполнен в виде матрицы сопротивлений, связанной с разрядами реверсивного счетчика через ключевые каскады. Выходное напряжение ЦАП поступает на вход нелинейного преобразователя напряжения. Нелинейный преобразователь выдает управляющее напряжение, которое поступает на варикапы резонансной системы гетеродина приемника. Преобразователь необходим для компенсации нелинейной зависимости емкости варикапа от управляющего напряжения. С помощью этой компенсации удается линеаризовать характеристику  $f_{гет} = f(U_{ЦАП})$ , где  $U_{ЦАП}$  - выходное напряжение ЦАП. Нелинейный преобразователь напряжения представляет собой силитель, охваченный нелинейной отрицательной обратной связью. Игры напряжений, поясняющие работу БСЧ, приведены на рис. 9.

Все элементы и узлы БСЧ выполнены на полупроводниковых приборах и интегральных микросхемах.

### Основные характеристики радиокompаса

Тактико-технические характеристики:

1. Диапазон частот 150 - 1799,5 кГц.
2. Чувствительность при соотношении сигнал/шум 6 дБ - не хуже 8 мкВ.



Р и с. 9. Эпюры напряжений в точках схемы блока сетки частот

3. Точность индикации курсового угла  $\pm 2^\circ$ .
4. Время перестройки - 4 с.
5. Дальность действия с радиостанцией ПАР-3Б:  
при высоте полета 10000 м - не менее 340 км,  
при высоте полета 1000 м - не менее 180 км.



## Режим работы

1. Режим "Компас" является основным режимом АРК. В этом режиме радиокompас при настройке его на частоту пеленгуемой радиостанции осуществляет автоматическое пеленгование этой радиостанции.

2. Режим "Антенна" служит для прослушивания и опознавания позывных сигналов радиостанции. В этом режиме прием сигналов осуществляется только ненаправленной антенной.

3. Режим "Рамка" является вспомогательным. В этом режиме прием сигналов происходит только направленной антенной.

## 2. Описание лабораторной установки

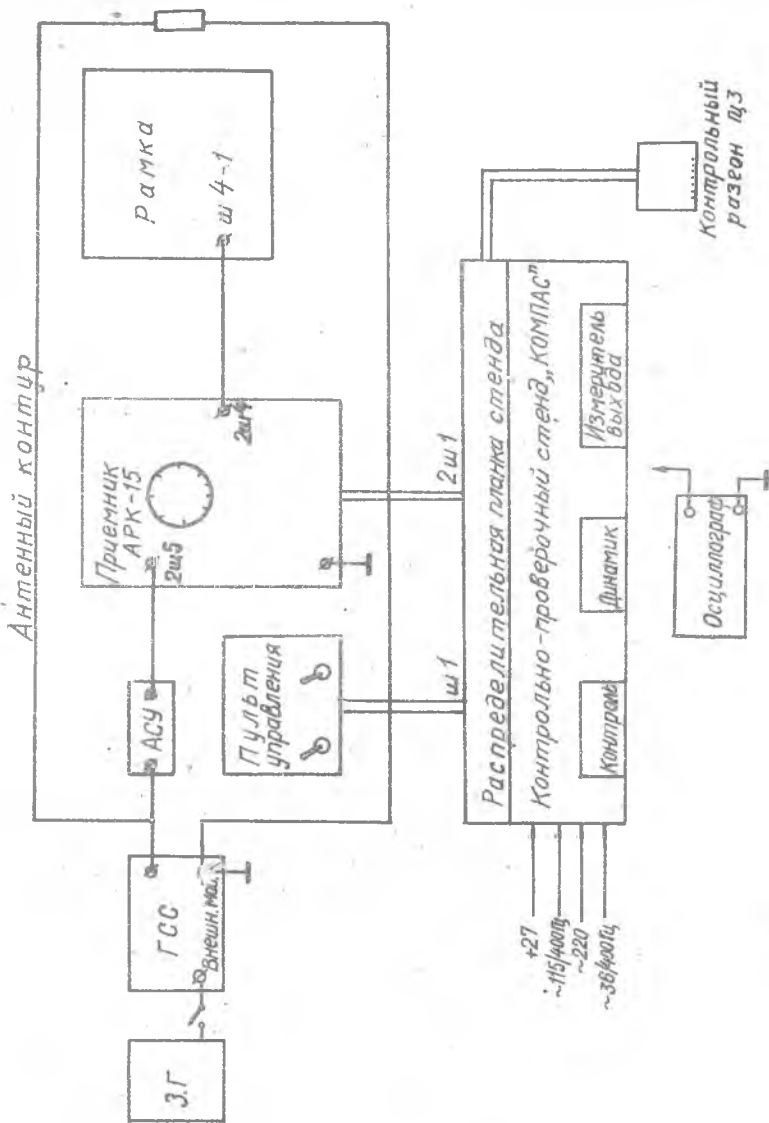
Лабораторная установка включает в себя автоматический радиокompас АРК-15, состоящий из приемника, пульта управления, антенного согласующего устройства (АСУ) и рамки; генератор стандартных сигналов ГСС; звуковой генератор ГЗ; контрольно-поверочный стенд "Компас" и осциллограф. Генератор ГСС предназначен для имитации сигналов в пеленгуемой радиостанции и нагружен на антенный контур. Звуковой генератор ГЗ используется для внешней амплитудной модуляции ГСС. Блоки АРК-15 соединены между собой по схеме рис. 10.

Для снятия осциллограмм и проверки работоспособности АРК используются контрольные гнезда щита стенда АРК-15 "Контроль АРК-15" и переключатели  $\Pi_1$  (на 12 положений),  $\Pi_2$  (на 3 положения).

Подключение контрольных точек схемы к контрольным гнездам панели щита АРК "Контроль АРК-15" производится через переключатели  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$  согласно табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Наименование сигнала на контрольной точке схемы	Положение $\Pi_1$	Переключатель $\Pi_2$	Номер (маркировка) гнезда контрольного разъема	
			4	5
Выход ГОН 135 Гц	1	1	Ш3 2Б5	Ш2 3Б3
УПЧ выход	2	1	Г4	2Г2
Выход УНЧ (телеф.кан.)	3	1	Г5	1А3
Выход УКК	4	1	Г2	1Б4
Выход БСКТ-1	5	1	1А2	1А1



Р и с. 10. Схема соединений аппаратуры в экспериментальной установке

Окончание табл. I

I	2	3	4	5
Выход БСКТ-2	6	1	ГБ4	ГГ1
Выход "телеграф"	7	1	ГБ1	ГГ4
Выходы триггеров схемы	1	2	ГА3	
Формирования сетки гетеродинных частот	2	2	ГА4	
	3	2	ГА5	
Единицы КГц	4	2	ГА6	
	5	2	2Б1	
Десятки КГц	6	2	2Б2	
	7	2	2Б3	
	8	2	2Б4	
	9	2	2Г1	
Сотни КГц	10	2	2Г2	
	11	2	2Г3	
Разряд 1 мГц	1	3	2Г4	
	2	3	2Г5	
Разряд 0,5 кГц	3	3	2Г6	

### 3. Порядок выполнения работы

1. Включить установку, получив предварительно разрешение преподавателя. Для этого включить тумблеры питания + 27В, П15В/400Гц, 220В. Проверить наличие питающих напряжений по лампам индикации и с помощью измерительного прибора и переключателя "Контроль", расположенных на контрольно-проверочном стенде.

2. Установить на ГСС частоту в пределах рабочего диапазона АРК (например, 1 мГц) и интенсивность выхода = 1 мВ. Установить на ГСС режим "Внутр". (внутренняя амплитудная модуляция частотой 1000 Гц). Осциллограф подключить к гнездам "Контроль АРК-15", переключатели П<sub>1</sub> и П<sub>2</sub> в положения 2 и 1, соответственно (при необход. установить внешнюю синхронизацию). Включить АРК в режим "Антенна" переключателем "Вык-Комп-Ант-Рам" на пульте управления и настроиться на частоту ГСС с помощью наборного устройства пульта. Контроль настройки вести по осциллографу и измерителю выхода стенда (переключатель "Динамик-вых" стенда поставить в положение "У вых"). При этом тумблер "Где-ИМГ" пульта должен быть установлен в положение "ГЛФ".

Переключить АРК в режим "Компас" и наблюдать отработку компасом пеленга по осциллографу и шкале указателя гониометра. Просмотреть и зарисовать осциллограммы напряжений на контрольных точках схемы АРК по пунктам 1,2,3,4,5,6,7 табл. 1. Отметить на эпюрах частоты сигналов, выдерживать на эпюрах соотношение амплитуд.

3. Отвести вручную указатель гониометра (нажать кнопку "Рамка") и, установив переключатель "Сельсин рамки" на щите стенда АРК в положение А8, снять характеристику направленности антенны влево и вправо от равносигнального направления на  $80-90^{\circ}$ . Просмотреть и зарисовать осциллограммы в точках, указанных в П2.

4. Просмотреть и зарисовать осциллограммы напряжений в указанных точках в режимах "Антенна" и "Рамка". При этом кнопкой "Рамка" пульта управления сместить вручную характеристику направленности влево (а затем вправо) на  $10 \div 15^{\circ}$ . Контроль за углом смещения вести по лимбу гониометра. Отметить изменения в осциллограммах по сравнению с режимом "Компас".

5. Включить режим "Компас". После отработки радиокompасом пеленга переключить АРК в режим "Рамка" и изменить показания пеленга на  $180^{\circ}$  (кнопкой "Рамка"). Контроль за точностью изменения пеленга на  $180^{\circ}$  вести по шкале гониометра и по исчезновению модуляции на выходе "ГР5". Затем переключить АРК в режим "Компас". Изменить время установления переходного процесса.

6. В режиме "Компас" в состоянии равновесия АРК изменить частоту АМ модуляции ГСС в сторону уменьшения. Определить значение частоты, при котором сигнал на выходе телефонного канала выход НЧ исчезает.

7. Снять характеристику направленности рамочной антенны. Для этого перевести АРК в режим "Рамка" и кнопкой "Рамка" перемещать ротор гониометра ступенями по  $20 \div 25^{\circ}$  (по лимбу гониометра). Контроль за уровнем принимаемого сигнала вести измерителем выхода стенда. Построить пеленгационную характеристику рамки в полярных координатах.

8. Проверить работу БСЧ. Для этого настроиться на радиовещательную станцию по слуху (переключатель "Динамик - U вых" стенда поставить в положение "Динамик", громкость звучания подобрать с помощью потенциометра "Громкость" пульта управления). Частота настройки (ориентировочно) -  $170 \div 175$  кГц,  $250 \div 260$  кГц.

Записать частоту и соответствующий ей код наборного устройства, проверив наличие сигналов в точках 1А3-1А6, 2Б1-2Б4, 2Г1-2Г6.

Кодирование десятичного знака с помощью одной двоично-десятичной декады осуществляется следующим кодом:

0-0000	3-1001	6-1100	9-1111
1-0001	4-1010	7-1101	
2-1000	5-1011	8-1110	

9. Дать толкование полученным результатам.

#### 4. С о д е р ж а н и е о т ч е т а

1. Функциональная схема радиокompаса АРК-15 (нарисовать заранее).

2. Результаты экспериментальных исследований. (Все временные диаграммы должны иметь единый масштаб времени и единое начало отсчета).

3. Объяснение полученным результатам.

4. Выводы по работе.

#### 5. К о н т р о л ь н ы е в о п р о с ы

1. В чем состоит назначение и принцип действия радиокompаса?

2. Какой метод пеленгования используется в радиокompасе и как он реализуется?

3. Нарисовать упрощенную функциональную схему АРК (на память).

4. Каковы устройство и работа антенны, гониометра, входных в.ч. цепей, приемника, в.ч. тракта компасного канала, блока сетки частот, телефонного канала?

5. Рассказать по принципиальной электрической схеме устройство и работу входных в.ч. цепей радиокompаса.

6. Рассказать порядок и технику проведенного эксперимента, каким образом использовалась контрольно-измерительная аппаратура, каковы результаты экспериментов?

7. Перечислить основные тактико-технические характеристики радиокompаса АРК-15.

8. Что называется курсовым углом? Каким методом он определяется? Как используется знание курсового угла пилотом и штурманом самолета?

9. Какие Вам известны методы определения курсового угла?

- Ю. Пояснить, почему диаграмма рамочной антенны имеет форму восьмерки и напряжение в ней относительно поля сдвинуто на  $90^{\circ}$ .
- II. Назначение телефонного и компасного каналов.
- Г2. Принцип действия и функциональная схема р/компаса в режимах "Компас", "Антенна", "Рамка".

#### Л и т е р а т у р а

1. Белавин О.В. Основы радионавигации. - М.:Советское радио, 1977.

2. Астафьев Т.П. и др. Радиотехнические средства навигации летательных аппаратов. - М.:Советское радио, 1962.

Составитель Виктор Дмитриевич Кузенков

ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАДИОКОМПАСА

Лабораторная работа № II

Редактор Н.В. К а с а т к и н'а  
Техн. редактор Н.М. К а л е н ю к  
Корректор Н.С. К у п р и я н о в а

Подписано в печать 19.05.82 г.

Формат 60x84 1/16. Бумага оберточная белая.

Печать оперативная. Усл.п.л. 1,7+0,3 (2 вкладки).

Уч.-изд.л. 1,86+0,3 (2 вкладки). Тираж 250 экз.

Заказ № 2693 Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени  
авиационный институт им. С.П.Королева, г.Куйбышев,  
ул. Молодогвардейская, 151.

Областная тип. им. В.П.Мяги, г.Куйбышев,  
ул. Венцека, 60.





