

САМАРСКИЙ ордена ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ им. АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА

ИССЛЕДОВАНИЕ
ДОПЛЕРОВСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ СКОРОСТИ
И УГЛА СНОСА ДМСС-16

САМАРА 1992

Министерство науки, высшего образования
и технической политики Российской Федерации

Самарский орден Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П.Дорохова

ИССЛЕДОВАНИЕ ДОПЛЕРОВСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ
СКОРОСТИ И УГЛА СНОСА ДИСС-16

Методические указания
к лабораторной работе

Самара 1992

Составители: В.Н.Г р о м ч е в, В. Ф. Ш и р о х о в

УДК 621.396.96

Исследование доплеровского измерителя скорости и угла сноса ДДСС-16: Метод. указ. к лабор. работе /Самар. авиац. ин-т; Сост. В.Н.Громчев, В.Ф.Широков. - Самара, 1992. - 31 с.

Приводятся сведения об основных принципах действия и особенностях построения доплеровских измерителей скорости и угла сноса (ДДСС). Рассмотрена схема построения и особенности работы измерителя ДДСС-16.

Предназначены для студентов спец. 23.01 и 23.03, изучающих курсы "Основы теории РТС" и "Радиотехнические системы". Составлены на кафедре "Радиотехнические устройства".

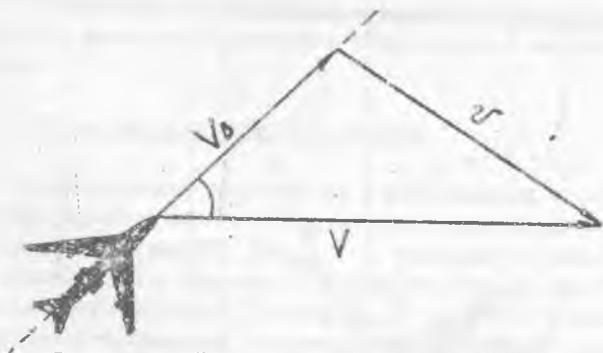
Утверждено по решению редакционно-издательского совета
Самарского государственного университета
Самарского государственного института имени академика С.П.Королева

Самарский В.Н.С а н к и я

Ц е л ь р а б о т ы - изучение принципа действия и устройства самолетного доплеровского измерителя с непрерывным немодулированным излучением ДИСС-16.

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ДОПЛЕРОВСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЯХ ВЕКТОРА СКОРОСТИ [1] [2]

Доплеровские измерители предназначены для измерения горизонтальной составляющей вектора скорости летательного аппарата (ЛА), которая называется путевой скоростью V , и угла сноса. Скорость V складывается из двух составляющих (рис.1): скорости движения ЛА относительно воздушной среды - V_B



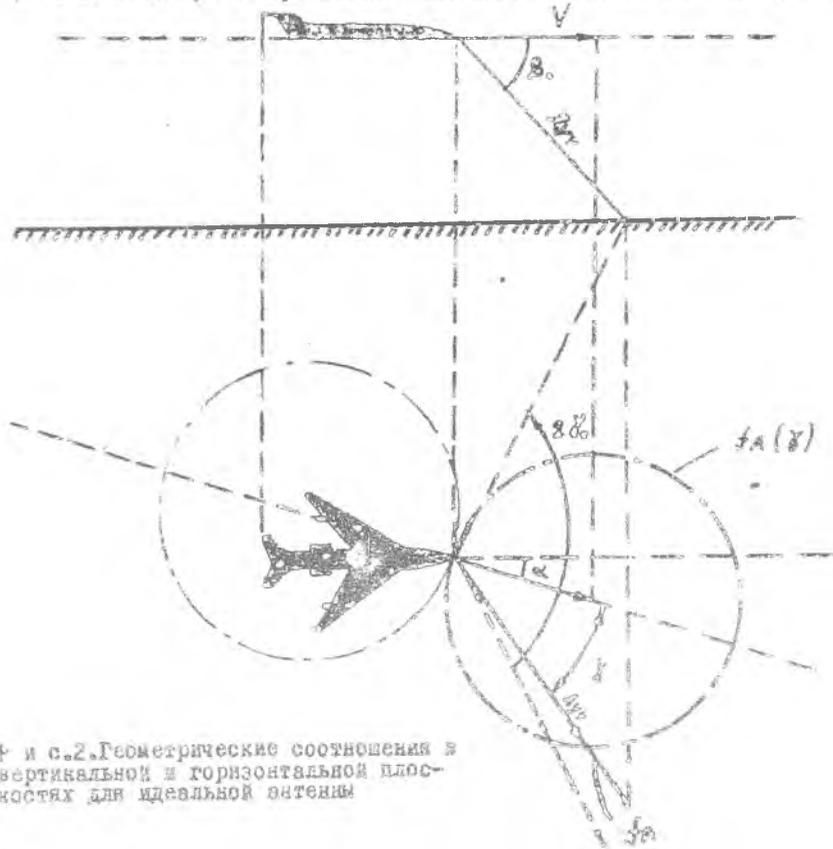
Р и с. 1. Навигационный треугольник

с к о р о с т и V_B и скорости движения воздушной среды относительно Земли - скорости ветра V . Направление V_B практически совпадает с продольной осью ЛА. Угол α между V и

V_{θ} , образованный в результате сноса ДА ветром, получил название угла сноса.

Принцип действия ДСС

Принцип действия ДСС наиболее просто может быть рассмотрен на примере однолучевого измерителя при использовании некоторых допущениях: полет предполагается строго горизонтальным, скорость его постоянна, радиолуч бесконечно тонкий, игольчатый. Геометрические соотношения в вертикальной и горизонтальной плоскостях показаны на рис. 2. Радиолуч в вертикальной плоскости отклонен вниз от продоль-



Р и с. 2. Геометрические соотношения в вертикальной и горизонтальной плоскостях для идеальной затенки

ной оси самолета на постоянный угол β_0 , а в горизонтальной плоскости на угол $(\alpha - \gamma)$. Доплеровское приращение частоты определяется проекцией вектора скорости на радиолуч

$$f_d = \frac{2V}{\lambda} \cos \beta_0 \cos \gamma.$$

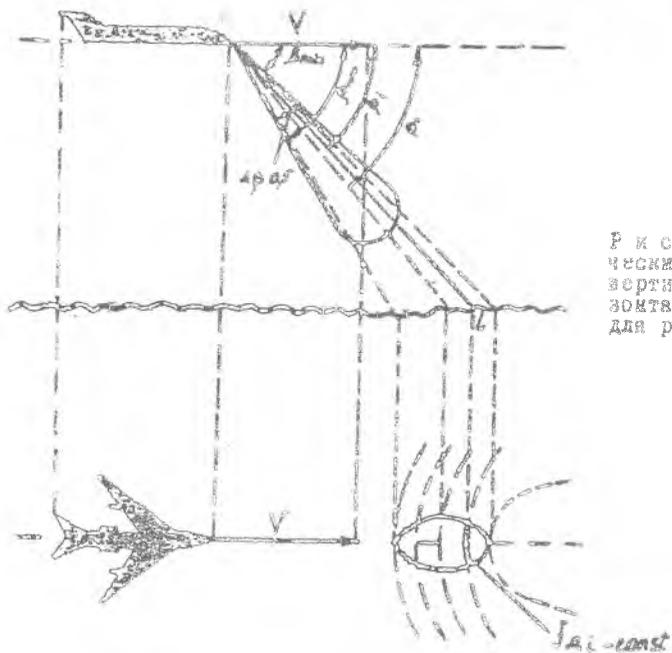
При $\beta_0 = \text{const}$, $V = \text{const}$, $f_d(\gamma) = \text{const} \cos \gamma$.

Годограф f_d показан на рис. 2 пунктирной линией. Если вращать антенну относительно вертикальной оси в направлении, в котором луч будет находиться в вертикальной плоскости, проходящей через вектор скорости V , то на выходе бортового приемника можно получить $f_d = f_{d \max}$. Это возможно при $\gamma = 0$, а максимальное значение частоты Доплера определится выражением $f_{d \max} = \frac{2V}{\lambda} \cos \beta_0$. При этом угол между осью антенны и осью самолета, который достаточно просто измерить, будет равен углу сноса α .

Таким образом, простейший бортовой доплеровский измеритель в принципе позволяет определить и величину, и направление путевой скорости.

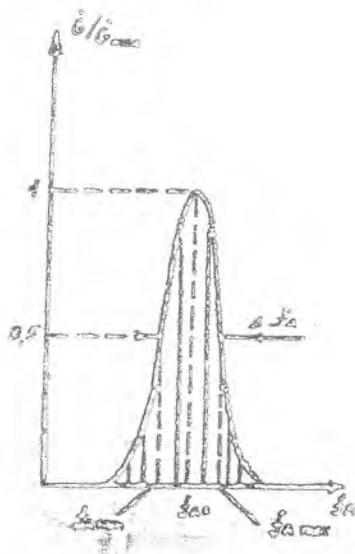
Структура доплеровского спектра

Геометрические соотношения в вертикальной и горизонтальной плоскостях с учетом конечной ширины диаграммы направленности (ДН) бортовой антенны, равной $\Delta \beta_{0.5}$, показаны на рис. 3. Любая i -я точка поверхности в пределах облучаемой площадки лежит на одной из гиперболических полосок, равных f_{di} , и все сигналы, отраженные элементарными площадками в пределах данной полоски (жирная линия на рис. 3) будут иметь одинаковую частоту $(f_0 + f_{di})$. Это же относится и ко всем другим $(N-1)$ облучаемым гиперболическим полосам (вмещающе помечены штриховыми линиями), каждая из которых соответствует своему значению угла β и f_d . Поэтому каждому фиксированному значению скорости самолета V соответствует спектр частот, отраженных от облучаемой площадки сигналов. Форма спектра отраженного сигнала показана на рис. 4.



Р и с. 3. Геометрические соотношения в вертикальной и горизонтальной плоскостях для реальной антенны

Р и с. 4. Форма спектра отраженного доплеровского сигнала



Нетрудно определить ширину доплеровского спектра Δf_d на уровне половинной мощности. Граничные на этом уровне частоты отраженных сигналов

$$f_{max} = f_0 + \frac{2V}{\lambda} \cos\left(\beta_0 - \frac{\Delta\beta_{0,5}}{2}\right),$$

$$f_{min} = f_0 + \frac{2V}{\lambda} \cos\left(\beta_0 + \frac{\Delta\beta_{0,5}}{2}\right).$$

Ширина спектра равна их разности:

$$\begin{aligned} \Delta f_d &= f_{max} - f_{min} = \frac{2V}{\lambda} \left[\cos\left(\beta_0 - \frac{\Delta\beta_{0,5}}{2}\right) - \cos\left(\beta_0 + \frac{\Delta\beta_{0,5}}{2}\right) \right] = \\ &= \frac{4V}{\lambda} \sin\beta_0 \sin\frac{\Delta\beta_{0,5}}{2}. \end{aligned}$$

Принимая во внимание, что обычно $\Delta\beta_{0,5}/2 \ll 1$, ширину спектра можно представлять в следующем виде:

$$\Delta f_d \approx \frac{2V}{\lambda} \sin\beta_0 \Delta\beta_{0,5}.$$

Таким образом, ширина доплеровского спектра пропорциональна скорости самолета, ширине ДН бортовой антенны в углу β_0 . Относительная ширина доплеровского спектра определяется соотношением

$$\frac{\Delta f_d}{f_{dc}} = \Delta\beta_{0,5} \tan\beta_0.$$

При типовых значениях $\beta_0 \approx 70^\circ$, $\Delta\beta_{0,5} = 4 \dots 5^\circ$,

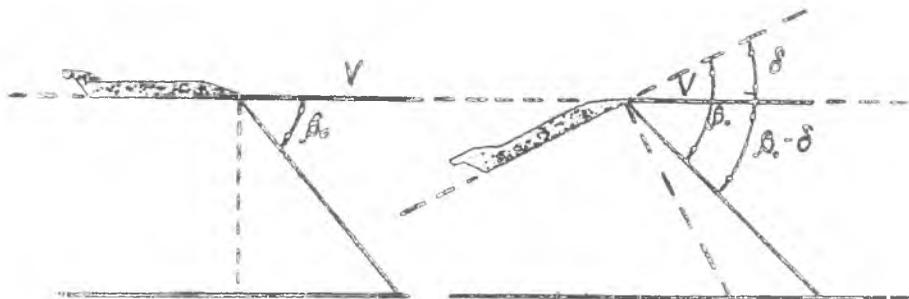
$\Delta f_d/f_{dc} = 0,1 \dots 0,15$, следовательно, доплеровский спектр узкополосен.

Число лучей и их ориентация

Рассмотренная выше схема однопучкового ДДС имеет ряд существенных недостатков:

так как годограф $f_g(\gamma)$ (см. рис. 2) имеет малую крутизну $df_g/d\gamma$ в области f_{gmax} , то измеритель обладает высокой точностью совмещения оси антенны с направлением вектора скорости и соответственно грубым определением угла сноса α ;

крены самолета δ (рис. 5) вносят недопустимо большую погрешность в измерение скорости - 5% f_g на каждый градус крена [1], что на порядок превышает допустимую суммарную ошибку;



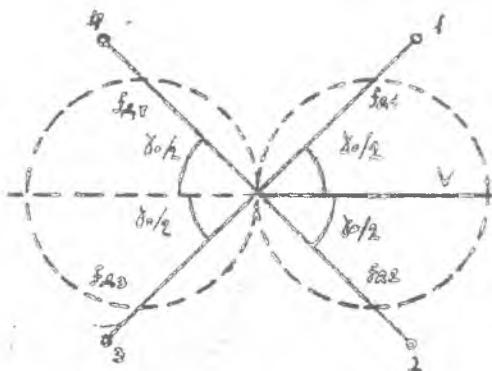
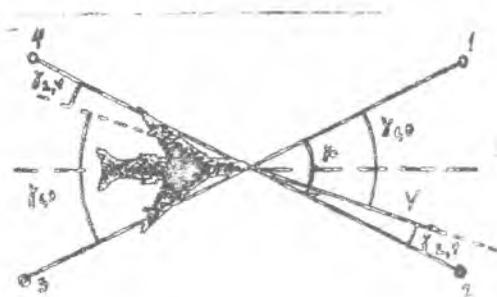
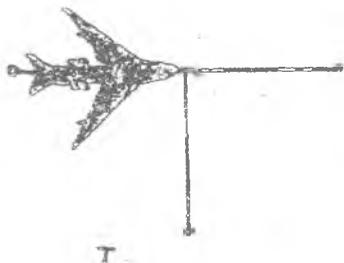
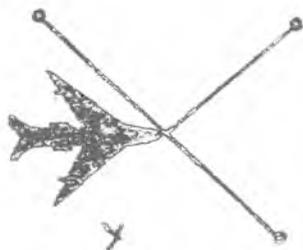
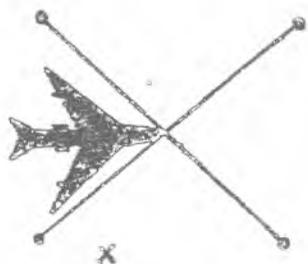
Р и с. 5. Влияние угла крена на погрешность измерения скорости

требуется высокая кратковременная стабильность частоты f_0 приемника ДСС: уход ее δf_0 за время распространения радиоволны от бортовой антенны до отражающей площадки и обратно должен быть много меньше допустимой погрешности δf_g изменения f_g [1]:

$$\frac{\delta f_0}{f_0} \ll \frac{\delta f_g}{f_0} = \frac{2\delta\tau}{c} \approx 10^{-9}$$

Существенно более высокими характеристиками обладает более сложное многолучевое ДСС. Наибольшее распространение получили трех- и четырехлучевые антенные системы ДСС конфигураций, представленных на рис. 6. X - и Y -образные конфигурации используются в самолетах и космических аппаратах, а T -образная - на вертолетах, для которых характерны большие углы сноса [1].

Принцип работы многолучевого ДСС рассмотрим на примере X-образной системы (см. рис. 7).



Р и с. 7. Голограф скорости для четырехлучевого X-образного ДИСС

Р и с. 8. Возможные расположения лучей в многолучевых ДИСС

Все четыре луча в вертикальной плоскости отклонены вниз относительно горизонтальной плоскости на одинаковый угол β_0 , а относительно продольной оси самолета — в противоположные стороны на одинаковый угол $\gamma_0/2$. Поэтому лучи 1 и 3 развернуты относительно вектора скорости V на одинаковый угол $\gamma_{1,3}$, а лучи 2 и 4 — на одинаковый угол $\gamma_{2,4}$. Доплеровские приращения частоты для лучей 1 и 2, направленных по движению самолета, положительны, а для лучей 3 и 4, направленных против движения, отрицательны, но по абсолютному значению для лучей — взаимодополняют (1,3 или 2,4) одинаковы. Лучи включаются попеременно поочередно: 1,3, затем 2,4, затем 1,3 и т.д. В приемном тракте выделяется частота бисигнал между сигналами, принятыми парными лучами. Например, при включении лучей 1,3 выделяется частота бисигнал

$$f_{b1,3} = (f_0 + f_{d1,3}) - (f_0 - f_{d1,3}) = 2f_{d1,3} = \frac{4V}{\lambda} \cos \beta_0 \cos \gamma_{1,3}.$$

Аналогично при включении лучей 2,4:

$$f_{b2,4} = (f_0 + f_{d2,4}) - (f_0 - f_{d2,4}) = 2f_{d2,4} = \frac{4V}{\lambda} \cos \beta_0 \cos \gamma_{2,4}.$$

Задача сводится к развороту антенной системы до получения равенства $f_{b1,3} = f_{b2,4}$. Это соответствует равенству углов $\gamma_{1,3} = \gamma_{2,4} = \gamma_0/2$ в бисигнальной оси антенной системы с направлением вектора скорости. Измеряя углы между осями антенны и самолета, определяем угол сноса α , а модуль вектора скорости V найдем, разделив относительно V соотношение

$$2f_{d1,3} = 2f_{d2,4} = \frac{2V}{\lambda} \cos \beta_0 \cos \gamma_0/2.$$

Основные преимущества многолучевого ДЛСС:

1. Рабочему положению оси антенны после ее разворота соответствуют большая крутизна $df_g/d\alpha$ графика $f_g(\alpha)$ для всех четырех лучей, что обеспечивает более высокую точность измерения α .

2. При отсутствии крена (рис. 8)

$$f_{g_{10}} + f_{g_{30}} = 2f_{g_{\gamma,30}} =$$

$$= 4V/2 \cos \beta_0 \cos \gamma_0 / 2.$$

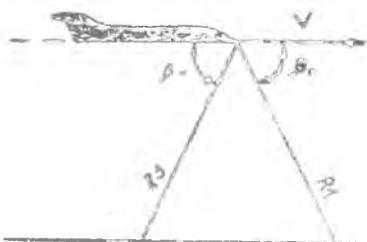
При крене (рис. 9)

$$f_{g_{\gamma}} + f_{g_{\delta}} = \frac{2V}{2} \cos \frac{\gamma_0}{2} [\cos(\beta_0 -$$

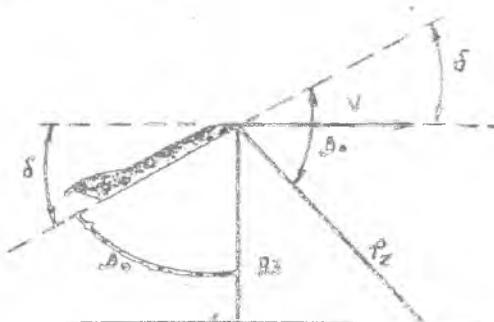
$$- \delta) + \cos(\beta_0 + \delta)] =$$

$$= \left[\frac{4V}{2} \cos \frac{\gamma_0}{2} \cos \beta_0 \right] \cos \delta =$$

$$= (f_{g_{10}} + f_{g_{30}}) \left(1 - \frac{\delta^2}{2} \right),$$



Р и с. 8. Расположение лучей антенны при отсутствии углов крена



Р и с. 9. Расположение лучей при наличии угла крена

поэтому относительная погрешность измерений, вызванная креном, δ :

$$\frac{\delta f_{g_{10}}}{f_{g_{10}}} = \frac{(f_{g_{\gamma}} + f_{g_{\delta}}) - (f_{g_{10}} + f_{g_{30}})}{f_{g_{10}} + f_{g_{30}}} = \frac{\delta^2}{2}.$$

При $\delta = 1^\circ = 1/57,3$ рад $\delta f_{g_{10}} / f_{g_{10}} \approx 2 \cdot 10^{-4}$

Таким образом, в многолучевой системе на каждый градус крена вносится погрешность 0,02% от $f_{g_{\gamma}}$, т.е. примерно в 250 раз меньше, чем в однолучевой системе. Причина этого проста: погрешности, вноси-

ные кренки в f_{g1} и f_{g2} , имеют противоположный знак и при суммировании f_{g1} с f_{g2} компенсируются.

3. В многолучевой системе, где выделяется частота биения между сигналами лучей-вытеснителей, важна стабильность частоты передатчика только во время равенства хода лучей 1 и 3 (или 2 и 4):

$$\Delta T_{\Sigma} = 2(R_1 - R_3)/C'$$

При отсутствии крена $R_1 = R_3$ и требования к кратковременной стабильности частоты передатчика вообще снимаются.

ОБЪЕМ СВЕДЕНИЯ О ДИСС-16 [2]

Назначение, состав и технико-эксплуатационная характеристика

Доплеровский измеритель устанавливается на дозвуковых самолетах для непрерывного автоматического измерения путевой скорости, угла сноса и пройденного самолетом пути. Информация о скорости V и угле сноса α поступает на собственный вычислитель и индикатор, на блок считывания пути и в другие устройства бортового навигационного комплекса (БНК).

Измеритель ДИСС-16 представляет собой доплеровскую автономную радиолокационную самолетную систему. Полный комплект доплеровского измерителя содержит два моноблока (основной и резервный), блок логики и обмена данными (LBD), индикатор и блок считывания пути (GI). Проверка исправности моноблока при техническом обслуживании производится с помощью пульта контроля.

Условия эксплуатации — технические характеристики

Диапазон измеренных скоростей, км/ч	150...1300
Диапазон измеренных углов сноса, град	± 30
Диапазон рабочих высот, м	10...15000
Погрешность измерения путевой скорости (2 σ) %:	
по импульсному выходу	0,25...0,4
по аналоговому выходу	0,4...0,5

Погрешность измерения угла сноса (2σ), мин	15...20
по аналоговому выходу	20
по аналоговому выходу	0,1...0,15
Мощность излучаемых колебаний, Вт	
Потребляемый измерителем ток, А:	
по сети 115В 400 Гц	0,6
по сети 27В	5,7
Рабочая длина волны, см	2
Чувствительность приемника, дБ/Вт	-110
Диапазон измеряемых доплеровских частот, кГц	0,8...11,0

Структурная схема

Структурная схема, отражающая принцип действия и состав измерителя, приведена на рис. 10

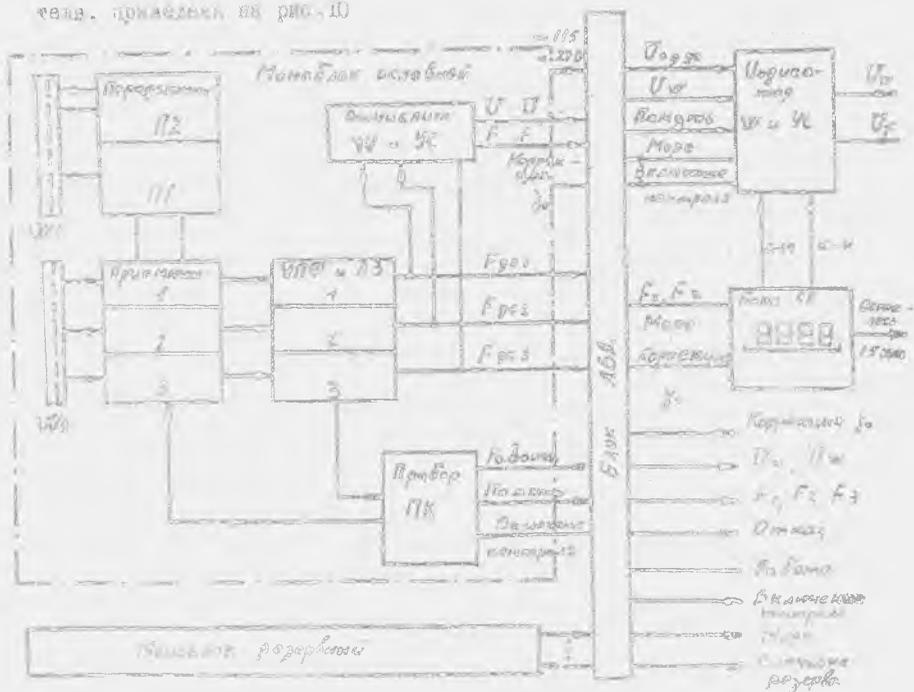


Рис. 10. Структурная схема ДИСС

В доплеровском измерителе используется режим с непрерывным немодулированным излучением. Излучение и прием отраженных сигналов осуществляется раздельно по трем лучам („У” - система) без коммутации. Как и все доплеровские измерители, работающие в режиме непрерывного излучения, аппаратура измерителя ДИСС-16 содержит приемную и передающую антенны, приемопередатчик, систему узкополосной фильтрации (УФ), вычислитель с индикатором и блок питания.

В ДИСС-16 впервые применен раздельный прием сигналов по каждому лучу без коммутации каналов. Это позволяет свести к минимуму погрешности, возникающие при кренах и тангажах самолета и снизить флуктуационные погрешности. Аппаратура полностью выполнена на полупроводниковых приборах и интегральных микросхемах.

Особенность построения доплеровской части измерителя является применение двух маломощных стабилизированных полупроводниковых СВЧ-передатчиков, частоты которых отличаются на 10 МГц. Первый передатчик П1 возбуждает луч 1 антенны, второй П2 - лучи 2 и 3. Разнос частот передатчиков позволил исключить из схемы приемника гетеродина. При этом в качестве гетеродинирующего сигнала для канала 1 используется часть мощности передатчика П2, а для каналов 2 и 3 - часть мощности передатчика П1. Для выделения доплеровской частоты используется сигнальная разностная частота передатчиков П1 и П2, формируемый в специальном канале.

В каждом из 3-х каналов используется своя система узкополосной фильтрации (УФ), представляющая собой систему слежения за средней частотой входного сигнала, позволяющая уменьшить влияние помех, неизбежно действующих на выходе приемного тракта (выходе измерителя f_d). В настоящее время во всех современных ДИСС применяют системы УФ, построенные на аналоговых или дискретно-аналоговых квадратурно-фазовых частотных раздичителях (КФР).

В моноблоке осуществляется:

генерирование и излучение СВЧ-колебаний, стабилизированных кварцем;

прием, усиление и детектирование отраженных от земной поверхности сигналов раздельно в трех приемниках;

трехканальная узкополосная фильтрация - преобразование спектров доплеровских сигналов, принятых по каждому лучу, в последовательность импульсов с частотами, равными средним доплеровским частотам;

вычисление совместно с блоком ДВД путевой скорости и угла сноса.

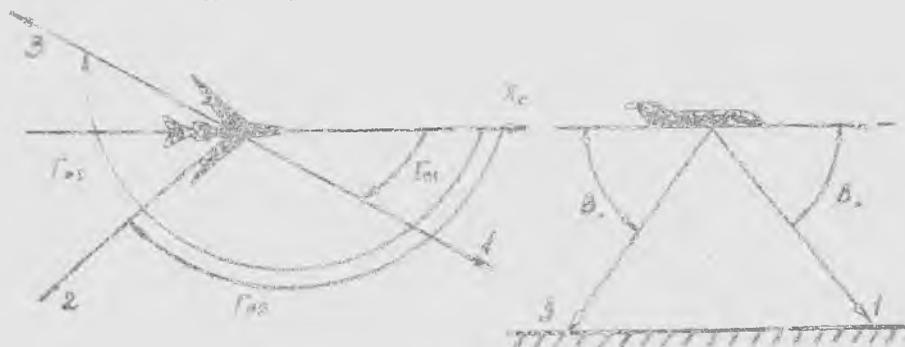
Каждая из трех систем ИСС содержит систему поиска и захвата доплеровского сигнала, построенную по принципу дифференциального азимута азимута, которая в режиме «Поиск» выдает сигнал «Работа», а в режиме «Помнить» — «Помнить». В режиме «Помнить» в вычислителе скорости и угла сноса V и α на его аналоговых выходах запоминается информация, предшествующая моменту переключения в режим поиска. Весь моноблок охвачен системой автоматического и тест-контроля.

В блоке ИСС осуществляется:

- вычисления совместно с моноблоком V и α и их индикация на собственных аналоговых отработках V и α ;
 - вывод данных V и α на индикаторы и инверсии f_{D1} , f_{D2} — сигналы логических элементов;
 - автоматический контроль работоспособности комплекта аппаратуры.
- Блок СД осуществляет вычисления и цифровой индикация расстояния. В вычислителе осуществляется отработка и индикация значения скорости и угла сноса, световая индикация режима «Помнить», ручное переключение режимов «Суша-Море» и «Контроль-Работа».

Ультразвуковая система привода передатчика

Привод передатчика с антенной входит в состав моноблоков. Функциональная схема привода приведена на рис. 11. Антенна состоит из двух одинаковых решетчатых цилиндра и передатчика. Двухлучевая решетка представляет собой плоскую решетку витания и обеспечивает формирование диаграммы излучения в трехлучевой «У» — системе с симметричными расходящимися лучами (рис. 12)



Р и с. 12. Расположение лучей антенны в ИСС-16

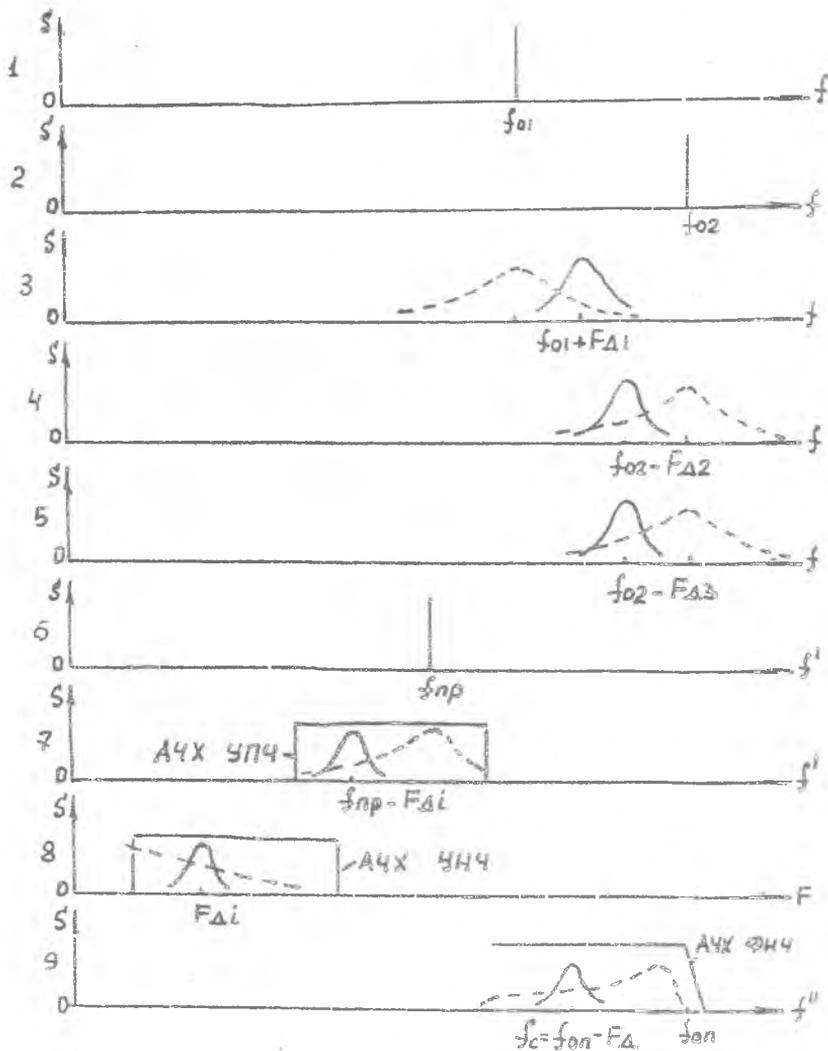
Углы визирования: горизонтальный $\alpha_0 = 27^{\circ}05'$, вертикальный $\beta_0 = 89^{\circ}07'$, результирующий $\gamma_0 = 76^{\circ}18'$. Передающая и приемная антенны конструктивно выполнены одинаково, расположены рядом на одной раме моноблока и отделены перегородкой. Параметры антенны: ширина $D_1 = 4,5^{\circ}$; $\alpha_2 = 400$; развязка между антеннами - 80 дБ.

Передачики П1 и П2 выполнены по одинаковым схемам и отличаются только частотами и выходной мощностью. При построении радиопроводниковых передатчиков СВЧ-диапазона используется транзисторно-усилитель-умножитель до частот 300 ... 400 МГц, а дальнейшее умножение осуществляется варакторными умножителями диодами с потерей мощности сигнала в каждом каскаде, так как КПД умножительных каскадов лежит в пределах 30-50%. В передатчике П1 частота задающего кварцевого генератора умножается на 8, и сигнал одновременно усиливается в усилителе А2 до мощности примерно 6 атт. Мощность умножения частоты на "32" мощность на выходе передатчика составляет 100...150 мвт.

СВЧ-энергия с направленного ответвителя № 5 передатчика П1 с частотой f_{01} поступает на левый вход передающей антенны (диаграмма 1 на рис. 15) и излучается в направлении луча 1 (вперед вправо). СВЧ-энергия передатчика П2 с направленного ответвителя № 4 с частотой f_{02} (диаграмма 2 на рис. 15) поступает на делитель мощности № 3, затем на второй и третий входы антенны и излучается в направлении лучей 2 (назад вправо) и 3 (назад влево). Разность частот $f_{02} - f_{01} = \Delta f$ мГц равна промежуточной частоте приемника f_{np} . Кроме того, часть энергии с направленных ответвителей передатчиков подается в качестве гетеродинного сигнала на радиочастотные головки (РЧГ-1) (см. рис. 11).

Приемник выполнен по супергетеродинной схеме с синхронным детектором, усилителем низкой частоты (УНЧ) и схемой переноса доплеровского сигнала в область опорной частоты 500 кГц. Коэффициент шума смесителей РЧГ не более 12 дБ при коэффициенте шума усилителя промежуточной частоты (МЧ) 2,5 дБ. МЧ и УНЧ обладают автоматической регулировкой (АРУ) с глубиной регулировки 60 дБ. На рис. 11 раскрыта функциональная схема первого приемника, второй и третий выполнены аналогично.

Отраженный сигнал, принятый антенной по черному лучу, с частотой $f_{01} + f_{02}$ (диаграмма 3 на рис. 15) поступает на кольцевой балансный смеситель в РЧГ-1, на выходе которого выделяется разностный сигнал $f_{02} - (f_{01} + f_{02}) = f_{np} - f_{01}$.



Р и с.13. Диаграмма, иллюстрирующая преобразование сигнала в ДИСС-16

Аналогично на выходах смесителей РЧГ-2

$$f_{\delta 1} = f_{02} - (f_{01} + f_{g2}) = f_{np} - f_{g2},$$

$$f_{\delta 2} = f_{02} - (f_{01} + f_{g3}) = f_{np} - f_{g3}.$$

Кроме полезного сигнала на выходе балансных смесителей выделяются преобразованные шумы просочившегося из антенны в антенну сигнала, вызванные естественной и технической модуляцией сигнала передатчика. Спектры этих шумов показаны на рис. 13 пунктирными линиями. На входы балансных смесителей поступает часть энергии передатчиков с частотами f_{01} и f_{02} , на выходе выделяется разностный сигнал с промежуточной частотой $f_{02} - f_{01} = f_{np}$.

Этот сигнал усиливается и фильтруется в отдельном усилителе промежуточной частоты (ОУПЧ) и через развязывающие усилители-ограничители $ZU1, ZU2, ZU3$ подается на синхронные детекторы приемников (диаграмма 6 на рис. 13) в качестве опорных сигналов с частотой $f_{np} = 10$ МГц. Коэффициент усиления ОУПЧ равен 300, уровень выходного сигнала -1,25 В при нагрузке, равной 75 Ом.

Преобразованный доплеровский сигнал с выхода балансного смесителя усиливается в УПЧ, содержащем избирательные усилительные каскады А4 и А5. Амплитудный модулятор УМБ выполняет свою функцию при тест-контроле. Полоса пропускания УПЧ, равная 2,5 МГц, определяется в основном диапазоном доплеровских частот и разностной нестабильностью кварцованных частот передатчиков. Коэффициент усиления УПЧ равен 50 дБ, глубина регулировки АРУ - 30 дБ, выходное напряжение УПЧ - 0,5...0,7 В.

Так как на выходе УПЧ сигнал является однополосным (диаграмма 7 на рис. 13), для его детектирования применяется синхронный детектор, работающий в ключевом режиме. На выходе синхронного детектора выделяются низкочастотный доплеровский сигнал $f_{g1} = f_{np} - (f_{np} - f_{g1})$ и преобразованные шумы просочившегося сигнала. Диапазон возможных значений доплеровских частот 0,8...11 кГц. Опорное напряжение на синхронный детектор поступает из ОУПЧ.

В полосовом УНЧ А6 сигнал усиливается до необходимого уровня, а шумы подавляются на частотах ниже 0,8 кГц и выше 12 кГц (диаграм-

из 8 на рис. 13). Коэффициент усиления УНЧ не менее 55 дБ, глубина регулировки АРУ - 60 дБ, коэффициент гармоник при $U_{\text{сиг}} = 300 \text{ мВ}$ не более 10%.

Балансный смеситель УМ6 переносит спектр доплеровского сигнала и шумов на опорную частоту $f_{\text{оп}} = 500 \text{ кГц}$, вырабатываемую в генераторе опорной частоты 68. Парное спектра частот используется для упрощения схемных решений фазовращателя системы узкополосной фильтрации.

Фильтром ЗФ1 выделяется нижняя боковая полоса частот - разностный преобразованный сигнал f_c (диаграмма 9 на рис. 13):

$$f_c = f_{\text{оп}} - f_{\text{др}}$$

Детектор АРУ УД2 преобразует среднее значение напряжения преобразованного доплеровского сигнала в пропорциональное ему постоянное напряжение. Постоянная времени фильтра АРУ равна 0,32 с. После усиления усилителем постоянного тока напряжение АРУ поступает на регулируемые каскады усиления А6 в УНЧ и с задержкой в УПЧ. Задержка АРУ в УПЧ обеспечивает его работу с максимальным усилением и, следовательно, минимальным уровнем приведенных ко входу шумов синхронного детектора. Автоматическая регулировка усиления при малых и средних сигналах осуществляется в УНЧ. И только при большом сигнале начинает работать АРУ в УПЧ.

Примененная схема АРУ обеспечивает нормальную работу без переключений усилительных каскадов и амплитудного модулятора УМ5, синхронного детектора УД1, балансного смесителя УМ6 при изменяющихся величинах отраженного сигнала вследствие изменения высоты полета, крена и тангажа, а также изменения отражающих свойств поверхности. Этим обеспечивается допустимый уровень нелинейных искажений сигнала и, следовательно, исключаются ложные захваты системой УПФ гармоник искаженного сигнала. Кроме того, при отсутствии доплеровского сигнала АРУ регулирует усиление УНЧ по шумам, в результате чего на входе УПФ поддерживается стабильный допустимый уровень шумов.

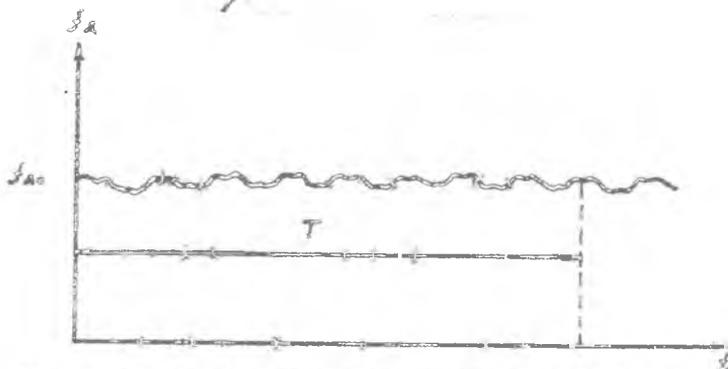
Блок узкополосной фильтрации и автомат захвата

Блок УПФ с автоматом захвата предназначен для измерения средней частоты доплеровского спектра в условиях воздействия помех, неиз-

обезно присутствующих на входе приемника. Доплеровский спектр представляет собой эргодический случайный процесс, поэтому его средняя частота f_{g0} является математическим ожиданием данного процесса и может быть получена в результате осреднения мгновенной частоты, принятой за время наблюдения T реализации доплеровского сигнала:

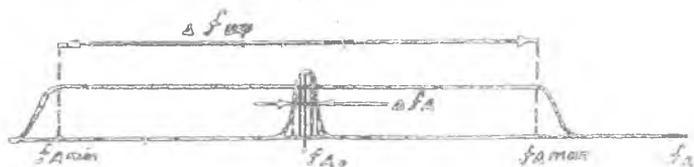
$$f_{g0} = \overline{f_g(t)} = \frac{1}{T} \int_0^T f_g(t) dt.$$

Характер изменения $f_g(t)$ показан на рис. 14.

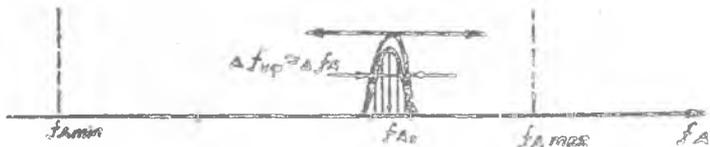


Р и с. 14. Характер изменения доплеровской частоты

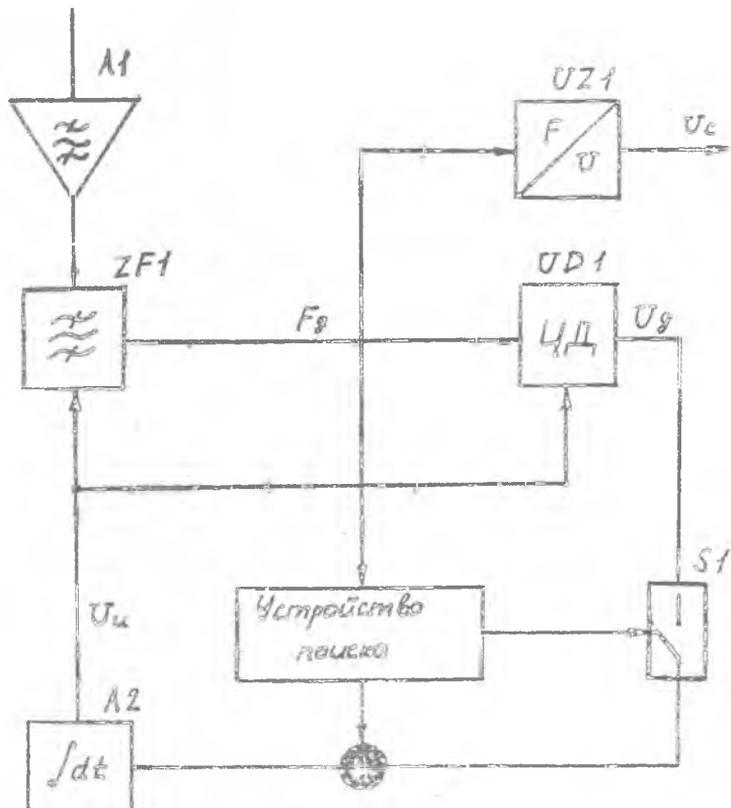
Различают две основные группы измерителей средней частоты спектра: широкополосные и следящие. Полоса пропускания широкополосных измерителей $\Delta f_{шп}$ охватывает весь диапазон измеряемых частот (рис. 15).



Р и с. 15. Диаграмма, поясняющая работу широкополосного измерителя частоты



Р и с. 16. Диаграмма, поясняющая работу следящего измерителя частоты



Р и с. 17. Обобщенная схема следящей фильтрующей системы

Полоса пропускания следящих измерителей $\Delta f_{\text{ср}}$ сравнима с шириной доплеровского спектра $\Delta f_{\text{д}}$, и при изменении скорости V автоматически отслеживает изменения $\Delta f_{\text{д}}$ (рис. 16).

В реальных условиях работы ДИСС неизбежны пропадания отраженного сигнала по одному или нескольким лучам, поэтому схема УИФ дополнена устройством поиска и захвата. Обобщенная схема следящей фильтрующей системы представлена на рис. 17.

В режиме поиска плавно меняется центральная частота полосового фильтра $\Sigma F1$ и частотного различителя $V \Delta 1$. Как только доплеровский спектр попадает в полосу пропускания фильтра $\Sigma F1$, происходит захват сигнала, ключ $S1$ замыкается и устройство переходит в режим слежения.

Вычислитель путевой скорости и угла сноса

Вычислитель ДИСС входит в состав моноблока и предназначен для вычисления V и α . Результаты вычисления поступают на соответствующие индикаторы - механические счетчики.

Основой для вычислений служат упрощенные алгоритмы. Обозначив

$$f_{g1} + f_{g2} = f_x \cdot f_g, \quad -f_{g2} = f_e, \quad \frac{\lambda}{4 \cos B_0 \cos \Gamma_0} = C_x,$$

эти алгоритмы запишем в виде

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{f_e}{f_x} \operatorname{ctg} \Gamma_0, \quad \alpha = \arctg \frac{f_e}{f_x} \operatorname{ctg} \Gamma_0,$$

$$V = C_x f_x \operatorname{sec} \alpha.$$

Описанные алгоритмы моделируются непосредственно в вычислителе.

Блок ЛВД

Блок ЛВД содержит две следящие системы обработки и индикации путевой скорости V и угла сноса α , а также систему автоматического обнаружения отказа основного моноблока и переключение на резервный. В ЛВД использован принцип автоматизированного контроля.

При переходе любого из трех устройств слежения в режим поена вырабатывается сигнал "Память", о чем сигнализирует надпись на индикаторе в виде буквы "П". С момента действия сигнала "Память" потребителю выдается запомненная информация о V и α . Устройство слежения переходит в режим поиска, и если за время 90 с (6...9 циклов поиска) доплеровский сигнал появится, то устройство слежения снимает сигнал "Память" и ЛБД перейдет в исходное состояние. Если за 90с устройство слежения не перейдет в режим слежения, то это свидетельствует либо о длительном пропадании доплеровского сигнала, либо о неисправности основного моноблока. Поэтому через 90 с вырабатывается сигнал "Контроль", переводящий основной моноблок в режим контроля. В этом режиме, если все устройства моноблока исправны, должен произойти захват контрольного сигнала с частотой 5,5 кГц, и затем выключение сигнала "Память". Блок ЛБД переходит в исходное состояние и снимает сигнал "Контроль". Если доплеровский сигнал отсутствует, то ЛБД повторит цикл контроля.

Если в режиме контроля за 40 с не происходит захвата контрольного сигнала, то принимается решение о неисправности основного моноблока и вырабатывается сигнал на включение резервного моноблока.

Блок числения пути

Блок С_п осуществляет вычисление и индикацию в цифровом виде оставшегося пути по маршруту полета.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная установка включает в себя следующие блоки: доплеровский измеритель путевой скорости и угла сноса и ветательного аппарата ДИСС-16, состоящий из моноблока и индикатора; имитатор доплеровского сигнала; пульт контроля; контрольно-измерительные приборы.

П у л ь т к о н т р о л я предназначен для взаимной проверки работоспособности доплеровского измерителя и осуществляет связь ДИСС-16 с имитатором и измерительной аппаратурой. Пульт контроля позволяет осуществлять следующие операции: включение ДИСС-16, контроль

питаемых напряжений вторичных источников питания, контроль токов смесительных диодов, контроль выходных напряжений синхронных детекторов, световую сигнализацию режимов "Захват", подачу сигналов с имитатора на вход станции.

И м и т а т о р предназначен для формирования сигналов доплеровского диапазона, необходимых для исследования основных характеристик ДИСС-16. Имитатор обеспечивает формирование следующих сигналов:

два гармонических сигнала доплеровского диапазона F_{g1} и F_{g2} , имитирующих смещение частоты отраженного сигнала и принимаемых по двум лучам измерителя ДИСС-16; частоты F_{g1} и F_{g2} могут изменяться в пределах от 1 кГц до 10 мГц;

доплеровский сигнал F_{gc} с изменяющейся средней частотой и шириной спектра, имитирующий удержание отраженного от подстилающей поверхности сигнала вследствие конечной ширины Дл приемопередающей антенны;

напряжение шумового сигнала с широким спектром переменной амплитуды, необходимое для имитации внешних и внутренних шумов приемного тракта, позволяющее менять соотношение сигнал-шум на входе блока узкополосной фильтрации УПФ.

Кроме того, в имитаторе сигналов предусмотрено устройство коммутации режимов работы имитатора и лабораторного стенда, при этом возможно выполнение следующих работ:

измерение доплеровских частот (режим W);

измерение угла сноса (режим $УС$);

исследование погрешности измерения доплеровской частоты в зависимости от ширины доплеровского спектра ΔF_{gc} и соотношения сигнал-шум, т.е. от соотношения $U_{g.c} / U_{ш}$ (режим $\frac{\Delta W_{son}}{\Delta W_{ш}}$).

РЕЖИМ РАБОТЫ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная установка может работать в трех режимах:

режим встроенного контроля, в котором проверяется общая работоспособность станции ДИСС-16; при этом контроль осуществляется с помощью встроенного в станцию контрольного генератора;

режим "Работа I", в котором осуществляется исследование взаимозависимостей между путевой скоростью W , углом сноса $УС$ от частоты

ты сигналов имитатора F_{g1} и F_{g2} ; измерение частот можно осуществлять встроенными частотомерами;

режим "Работа II" предназначен для исследования блока узкополосной фильтрации; в нем определяются погрешности измерения путевой скорости W от ширины доплеровского спектра ΔF_{Dc} (соотношение сигнал-шум $S_{Dc}/U_{ш}$).

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Проверка общей работоспособности

Для оперативной проверки общей работоспособности ДИСС-16 служит схема встроенного контроля. Для этого необходимо:

1. Включить станцию с помощью тумблера ДИСС на пульте контроля. Через 3...15 с после включения на индикаторе должно погаснуть табло "П", что свидетельствует о захвате контрольного сигнала. Через 3 мин после окончания переходных процессов в следящих системах зафиксировать показания индикатора скорости и угла сноса. Скорость, соответствующая контрольному сигналу, должна быть равна $W = 680 \dots 740$ км/ч, $УС = (0 \pm 1,5^0)$. Проверить введение поправки для режима M ("Море"). Для этого переключатель С-И ("Суша-Море") на индикаторе переводится в положение "И", и через 3 мин фиксируются показания индикатора W и УС. При этом показания скорости увеличиваются на 19...23 км/ч, значение УС остается неизменным.

2. Проверить наличие питающих напряжений, а также работоспособность смесительных диодов и синхронных детекторов. Установить переключатель режимов на пульте контроля в положение "Калибровка". Прибор на пульте контроля должен показывать 43...50 мкА, что свидетельствует об исправности пульта. Перевести переключатель режимов в положение "Контроль II" и проверить исправность вторичных источников питания. Показания микроамперметра должны быть в пределах 30 ... 40 мкА.

3. Проверить наличие токов смесительных диодов, последовательно устанавливая переключатель "Контроль III" в положение "I₁...I₄" в пределах 10...50 мкА. Наличие токов свидетельствует о нормальном режиме работы передатчиков. Аналогично проверить режим работы синхронных детекторов, установив переключатель "Контроль III" последо-

зательно в положение СД1, СД2, СД3. Показания микроамперметра должны быть в пределах 5 ... 20 мкА.

4. Проверить отсутствие ложных захватов, что говорит об исправности моноблока. Переключатель "Контроль-Работа" поставить в режим "Работа", переключатель режимов перевести в положение "Захват". При этом загорание светодиодов "Захват" по всем трем каналам должно произойти не ранее, чем через 3 и более секунды.

Исследование зависимости показаний индикатора скорости W от частоты F_{gc} .

Необходимо перевести ДСС в режим работы с имитатором сигналов. Переключатель "Работа" поставить в положение "Работа I". Переключатель "Внешний контроль-встроен. контроль" поставить в положение "Внешний контроль". Выключить имитатор. Переключатель "Режимы" на имитаторе установить в положение W . Для девяти положений потенциометра $W \pm F_{gc}$ на имитаторе снять зависимость $W = f(F_{gc})$. Отсчет F_{gc} производить по встроенному частотомеру, отсчет W - по индикатору скорости. Полученные данные занести в табл. I.

Т а б л и ц а I

$F_{gc}, \text{КГц}$							
$W, \text{км/ч}$							
$W_{расч.}, \frac{\text{км/ч}}{4}$							

2. Для замеряемых значений частоты F_{gc} рассчитать соответствующие значения скорости по формуле

$$W_{расч} = \frac{F_{gc} \lambda}{55,6 \cos \delta \cdot B_0 \cos \Gamma_0}$$

$$\lambda = 2,25 \text{ см}, \quad B_0 = 69^{\circ}07', \quad \Gamma_0 = 27^{\circ}03'.$$

Построить графические зависимости $W = f(F_{g2})$ и

$$W_{расч} = f(F_{g2}).$$

Исследование зависимости угла сноса УС от частот F_{g1} и F_{g2}

1. Переключатель "Режимы" на имитаторе установить в положение УС. Потенциометр $W \dots F_{gc}$ установить в среднее положение. Потенциометром УС на имитаторе добиться нулевых показаний УС на индикаторе. Записать показания индикатора W и частотомеров F_{g1} и F_{g2} . Устанавливая потенциометром УС на индикаторе значения углов сноса $-30^\circ, -20^\circ, -10^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$ и добиваясь при этом с помощью потенциометра $W \dots F_{gc}$ неизменности показаний скорости, снять показания частотомеров F_{g1} и F_{g2} . Полученные данные свести в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

УС, град	-30	-20	-10	0	10	20	30
F_{g1} , кГц							
F_{g2} , кГц							
$F_{g1расч}$, кГц							
$F_{g2расч}$, кГц							

Рассчитать теоретические значения $F_{g1расч}$, $F_{g2расч}$ по формулам

$$F_{g2расч} = \frac{55,6 W}{\lambda} \cos B_0 \cos(\Gamma_0 + \gamma_0),$$

$$F_{g1 \text{ расч}} = \frac{55,6 \text{ W}}{\lambda} \cos \beta_0 \cos (\Gamma_0 - \gamma_0),$$

где W - измеренное по индикатору значение скорости, км/ч

$$\lambda = 2,25 \text{ см}, \quad \beta_0 = 69^{\circ}07', \quad \Gamma_0 = 27^{\circ}03'$$

2. Построить зависимости

$$F_{g1} = f(\gamma_0), \quad F_{g1 \text{ расч}} = f(\gamma_0),$$

$$F_{g2} = f(\gamma_0), \quad F_{g2 \text{ расч}} = f(\gamma_0).$$

Выключение установки

Выключение установки производить после выполнения всех пунктов задания и проверки результатов преподавателем.

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен выполняться в строгом соответствии с ЭСКД и "Требованиями к оформлению учебных текстовых документов" (РД Куйб И44-1-87. Куйбышев, 1988) и содержать следующее:

1. Название лабораторной работы, ФИО автора, номер группы и цель проводимых исследований.
2. Основные расчетные соотношения, используемые при подготовке к выполнению работы и результаты теоретических расчетов.
3. Структурная схема ДИСС-16.
4. Таблицы с результатами эксперимента.
5. Графики, построенные по результатам теоретического расчета и эксперимента.
6. Выводы по результатам эксперимента.

Контрольные вопросы

1. Нарисовать структурную схему и пояснить принцип действия однолучевого ДИСС.
2. Что такое навигационный треугольник?
3. Чем определяется структура доплеровского спектра?
4. Каковы основные недостатки однолучевых ДИСС и каковы методы их устранения?
5. Многолучевые ДИСС. Число лучей и их ориентация в пространстве. Преимущества многолучевых ДИСС по сравнению с однолучевыми.
6. Общие сведения о ДИСС-16. Назначение, состав, техническая характеристика.
7. Структурная схема ДИСС-16, принцип действия.
8. Особенности построения приемопередающей части ДИСС-16.
9. Схема узкополосной фильтрации, ее назначение.
10. Нарисовать и объяснить принцип работы обобщенной схемы следающей фильтрующей системы.
11. Пояснить влияние угла сноса на точность измерения скорости ЛА.

Библиографический список

1. Колчинский В.Е. и др. Автономные доплеровские устройства и системы навигации летательных аппаратов /Под ред. В.Е.Колчинского. М.: Сов.радио, 1975. 432 с.
2. Флеров А.Г., Тимофеев В.Т. Доплеровские устройства и системы навигации. М.: Транспорт, 1987, 191 с.
3. Винницкий А.С. Автономные радиотехнические системы: Учеб. пособие для высш.учеб.заведений. М.: Радио и связь, 1986, 335 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДОПЛЕРОВСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ
СКОРОСТИ И УГЛА СНОСА ДИСС-16

Составители: Г р о м ч е в Василий Яковлевич,
Ш и р о к о в Юрий Федорович

Редактор Б.Д.А н т о н о в а
Техн. редактор Г.А.У с а ч е в а
Корректор Н. С. К у л р и н о в а

Подписано в печать 1.07.92. Формат 60x84¹/16.
Булага оберточная. Печать оперативная. Уч.-изд.л. 1,76
Усл.печ. л. 1,86. Усл.кр.-отт. 2,0. Тираж 200 экз.
Заказ № 163. Бесплатно.

Самарский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П.Королева.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

Участок оперативной полиграфии Самарского авиационного
института. 443001 Самара, ул. Ульяновская, 16.