

Министерство высшего и среднего специального
образования Р С Ф С Р

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени С.П.Королева

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ДОПЛЕРОВСКОЙ
ЧАСТОТЫ ИЗМЕРИТЕЛЯ СКОРОСТИ ДИСС-3

Лабораторная работа № 10

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.II.79.

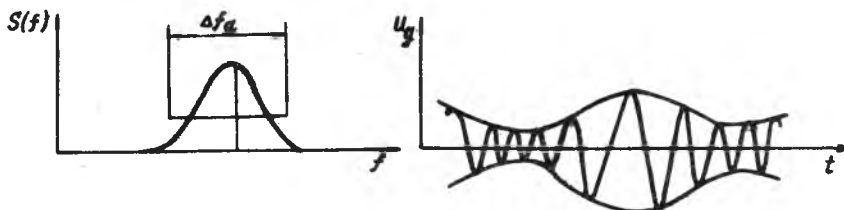
ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ДОПЛЕРОВСКОЙ ЧАСТОТЫ ИЗМЕРИТЕЛЯ СКОРОСТИ ДИСС-3

Ц е л ь р а б о т ы - ознакомление с принципом действия, свойствами и построением устройства узкополосной фильтрации и измерения доплеровской частоты измерителя ДИСС-3; экспериментальное исследование устройства.

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

Доплеровский сигнал представляет собой узкополосный случайный процесс. Такой сигнал можно рассматривать как квазигармоническое колебание несущей частоты f_{g_0} с медленно изменяющимися во времени и имеющими случайный характер амплитудой $U_0(t)$ и фазой $\varphi(t)$ (рис. 1):

$$u_g(t) = U_0(t) \cos [2\pi f_{g_0} t + \varphi(t)] = U_0(t) \cos \psi(t).$$



Р и с. 1. Спектр и временное представление узкополосного случайного процесса

Мгновенную частоту случайного узкополосного сигнала определяют как производную от полной фазы:

$$f(t) = \frac{d}{dt} \psi(t) = \frac{d}{dt} [2\pi f_{g_0} t + \varphi(t)].$$

Мгновенная частота доплеровского сигнала является случайной функцией времени. Среднее значение частоты f_{g0} является искомым. Флуктуации частоты сигнала приводят к ошибкам измерений.

Для уменьшения флуктуационных ошибок производят усреднение результатов измерений в течение времени, превышающего время корреляции частоты. В качестве усредняющих (сглаживающих) элементов устройств обычно применяют фильтры.

Дисперсия флуктуационной ошибки прямо пропорциональна ширине доплеровского спектра и обратно пропорциональна времени усреднения:

$$\sigma_f^2 = \kappa^2 \frac{\Delta f_g}{\tau_\phi} = \kappa^2 \Delta f_g \Delta F_\phi, \quad (1)$$

где σ_f^2 - дисперсия ошибки;
 $\tau_\phi, \Delta F_\phi$ - постоянная времени и полоса пропускания фильтра;
 κ - коэффициент пропорциональности.

Воспользуемся известными выражениями для ширины доплеровского спектра [1, с. 348]:

$$\Delta f_g = \frac{\sqrt{2} V}{\lambda} \Delta \eta \sin \eta \quad (2)$$

и средней частоты спектра [1, с. 343]:

$$f_{g0} = \frac{2V}{\lambda} \cos \eta. \quad (3)$$

В этих формулах η - угол между вектором скорости летательного аппарата (ЛА) и направлением луча измерителя, $\Delta \eta$ - ширина диаграммы направленности в плоскости, в которой находится угол η , λ - длина волны зондирующего колебания. Используя выражения (1) - (3) можно найти среднюю квадратичную ошибку измерения скорости ЛА:

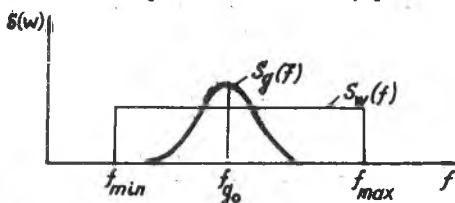
$$\frac{\sigma_V}{V} = \frac{\sigma_f}{f_{g0}} = \frac{\kappa \sqrt{\sin \eta \lambda \Delta \eta}}{\sqrt{2} V \tau_\phi \cos \eta}. \quad (4)$$

Формула (4) не учитывает влияния собственных шумов приемника. При увеличении времени усреднения уменьшается флуктуационная, но возрастает динамическая ошибка. Постоянную времени фильтра выбирают из соображения равенства динамической и флуктуационной ошибок.

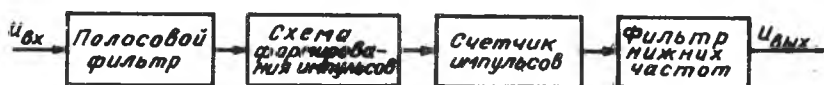
Для измерения среднего значения частоты доплеровского спектра f_{g0} используют частотомеры. Существующие схемы частотомеров можно разделить на две группы: частотомеры с непосредственным отсчетом и следящие частотомеры, осуществляющие слежение за средней частотой спектра f_{g0} .

Измерители частоты первого вида регистрируют частоту доплеровского сигнала в широкой полосе частот. В этом случае на выходе приемника устанавливается полосовой фильтр, полоса пропускания которого рассчитана на полный диапазон скоростей самолета (рис. 2).

Частота доплеровского сигнала измеряется в присутствии относительно большой полосы частот шумов приемника. При несовпадении средних частот сигнала f_{g0} и шумов f_0 возникает значительные ошибки, поэтому при этом способе измерения частоты необходимо обеспечить весьма высокое отношение сигнал/шум.



Р и с. 2. Полоса пропускания фильтра в частотомерах с непосредственным отсчетом

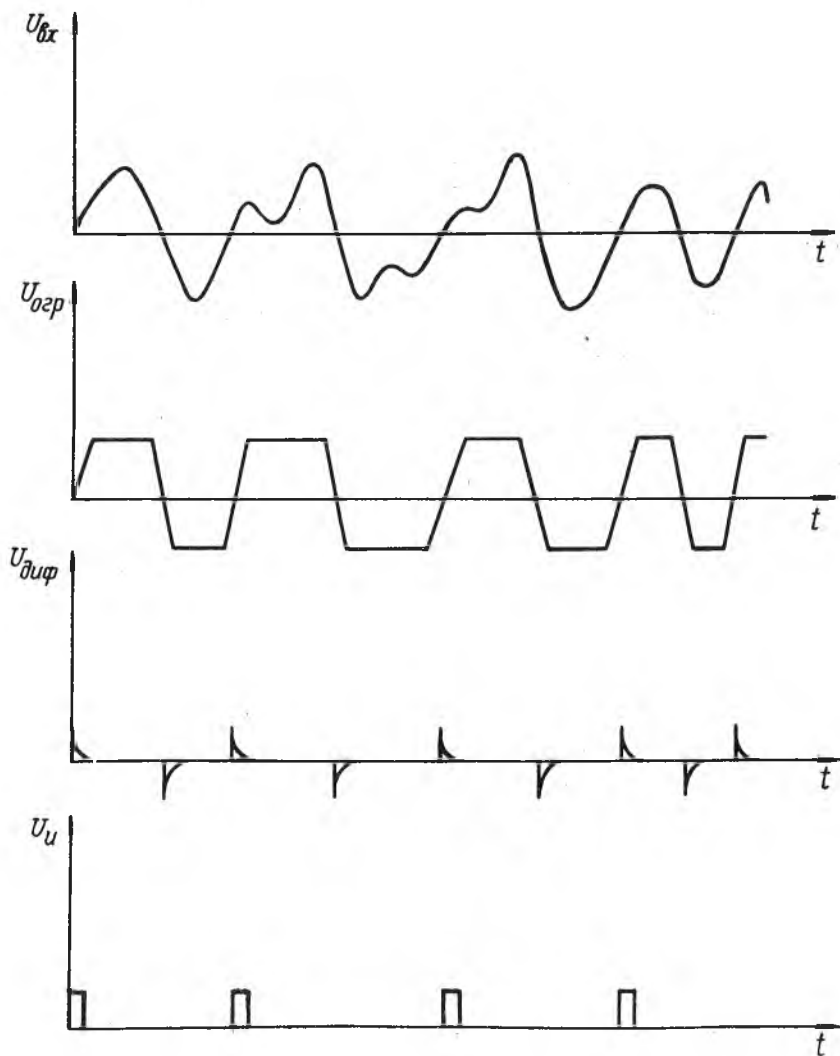


Р и с. 3. Функциональная схема счетчика нулей

В качестве частотомера с непосредственным отсчетом используются обычно счетчики нулей. Функциональная схема счетчика приведена на рис. 3. Эпюры напряжений, поясняющие его работу - на рис. 4.

Допплеровский сигнал подается на схему формирования импульсов, где он ограничивается, дифференцируется, и где формируются стандартные импульсы, соответствующие моментам пересечения доплеровским сигналом нулевого уровня, например, "снизу вверх". Импульсы поступают на счетчик и фильтр низкой частоты (ФНЧ).

Выходное напряжение фильтра пропорционально числу пересечений в единицу времени входным сигналом нулевого уровня. Среднее число пересечений в единицу времени не совпадает со средней частотой



Р и с. 4. Эпюры напряжений в счетчике нулей

той спектра f_{g_0} , а равно среднеквадратической частоте спектра, которая определяется выражением

$$f_{\text{ср.кв}} = \sqrt{\frac{1}{\sigma_f^2} \int_0^{\infty} S(f) df},$$

где $S(f)$ - спектр доплеровского сигнала.

Для гауссова спектра в отсутствии шумов [1, с. 390]

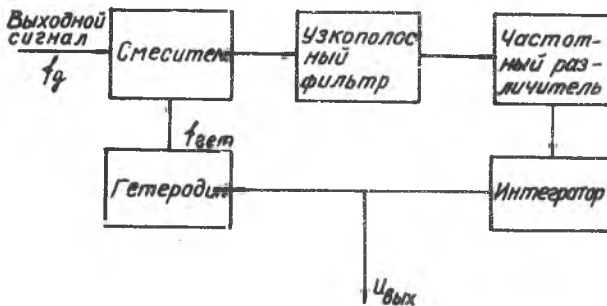
$$f_{\text{ср.кв}} = f_{g_0} \left(1 + \frac{\Delta f_g^2}{4\pi f_{g_0}^2} \right).$$

Возникающая таким образом систематическая ошибка не превышает обычно 0,1%.

Основное достоинство частотомеров с непосредственным отсчетом - простота реализации, недостаток - малая помехоустойчивость.

Для уменьшения ширины спектра шумов желательно использовать измерители с перестраиваемым узкополосным фильтром. Такой метод фильтрации применяется в схемах следящего частотомера.

Функциональная схема одного из вариантов следящего частотомера представлена на рис. 5.



Р и с. 5. Функциональная схема следящего частотомера

В схеме следящего частотомера реализуется принцип частотной (фазовой) автоподстройки частоты (ЧАП, ФАП). Частота следящего гетеродина автоматически устанавливается таким образом, что разность частоты гетеродина и среднего значения частоты спектра доплеровского сигнала сохраняет постоянную величину, определяемую настройкой частотного различителя.

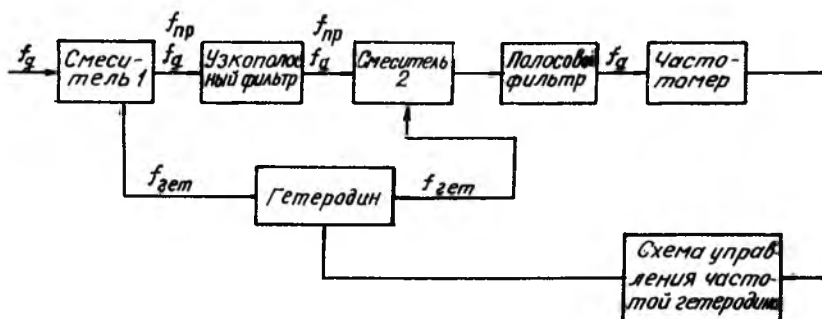
Различные варианты схем следящих частотомеров подробно описаны, например, в [1, с. 394-412].

Полоса пропускания узкополосного фильтра таких устройств сравнима с полосой доплеровского спектра. В результате исключаются шумы, лежащие вне полосы пропускания фильтра.

Следящие частотомеры обладают высокой помехоустойчивостью, однако они сложны в реализации.

2. Функциональная схема устройства узкополосной фильтрации, измерения доплеровской частоты измерителя ДИСС-3

Рассматриваемое устройство представляет собой следящий частотомер. Его построение отличается от классических схем, описанных в литературе. Упрощенная функциональная схема этого устройства приведена на рис. 6.



Р и с. 6. Упрощенная функциональная схема устройства фильтрации и измерения частоты измерителя ДИСС-3

Частотомер выполнен по схеме счетчика нулей, принцип действия которого описан выше. Частотомеру предшествует схема узкополосной фильтрации. Частота сигнала, поступающего с выхода приемника, преобразуется с помощью смесителя I в частоту $f_{нр} = f_2 - f_g$, близкую к частоте настройки узкополосного фильтра (f_2 - частота сигнала).

ла гетеродина). Узкополосный фильтр подавляет спектральные составляющие шума, лежащие вне его полосы, и тем самым увеличивает отношение сигнал/помеха. В смесителе 2 происходит обратное преобразование частоты. С помощью полосового фильтра из совокупного преобразованного сигнала выделится составляющая частоты f_{Σ} , равная частоте сигнала, поступающего на вход устройства. Частота этого сигнала измеряется частотомером, который выдает постоянное напряжение – приборный аналог частоты. Это напряжение поступает на выход и используется для управления частотой гетеродина. Частота гетеродина при этом принимает значение, при котором преобразованный сигнал попадает в полосу пропускания узкополосного фильтра.

Таким образом, образуется система автоматического управления, замкнутая через частотомер и осуществляющая слежение за частотой входного сигнала. Режиму слежения предшествует поиск (на рис. 6 схема поиска не показана).

Перейдем к рассмотрению подробной функциональной схемы устройства. Эта схема приведена на рис. 7. В описании общей функциональной схемы измерителя ДИСС-3 (см. инструкцию к лаб. работе №9) указывалось, что измеритель имеет две пары периодически коммутируемых антенн. Значения доплеровских частот сигналов, принимаемых по этим антеннам, в общем случае различны, поэтому схема узкополосной фильтрации имеет два гетеродина, которые через коммутатор гетеродинов периодически, синхронно с переключением антенн, подключаются к смесителям 1 и 2 схемы узкополосной фильтрации.

Сигнал доплеровской частоты с выхода УНЧ схемы узкополосной фильтрации подается на частотомер и через коммутатор на одну из двух схем захвата. Коммутатор схем захвата также работает синхронно с переключением антенн измерителя. Каждая из схем захвата состоит из анодного детектора и реле захвата.

При превышении амплитудой доплеровского сигнала некоторого порогового уровня анодный детектор выдает постоянное напряжение, которое после усиления переключает реле захвата из положения "поиск" в положение "захват". В режиме поиска через это реле подается напряжение 36 В, 400 Гц на двигатель отработки системы частотной автоподстройки. При этом двигатель постоянно вращается, частота гетеродина перестраивается по линейному закону и происходит поиск по частоте. В режиме слежения указанное выше напряжение отключается, и вращение двигателя отработки происходит под воздействием напряжения, поступающего с выхода схемы автоподстройки частоты.

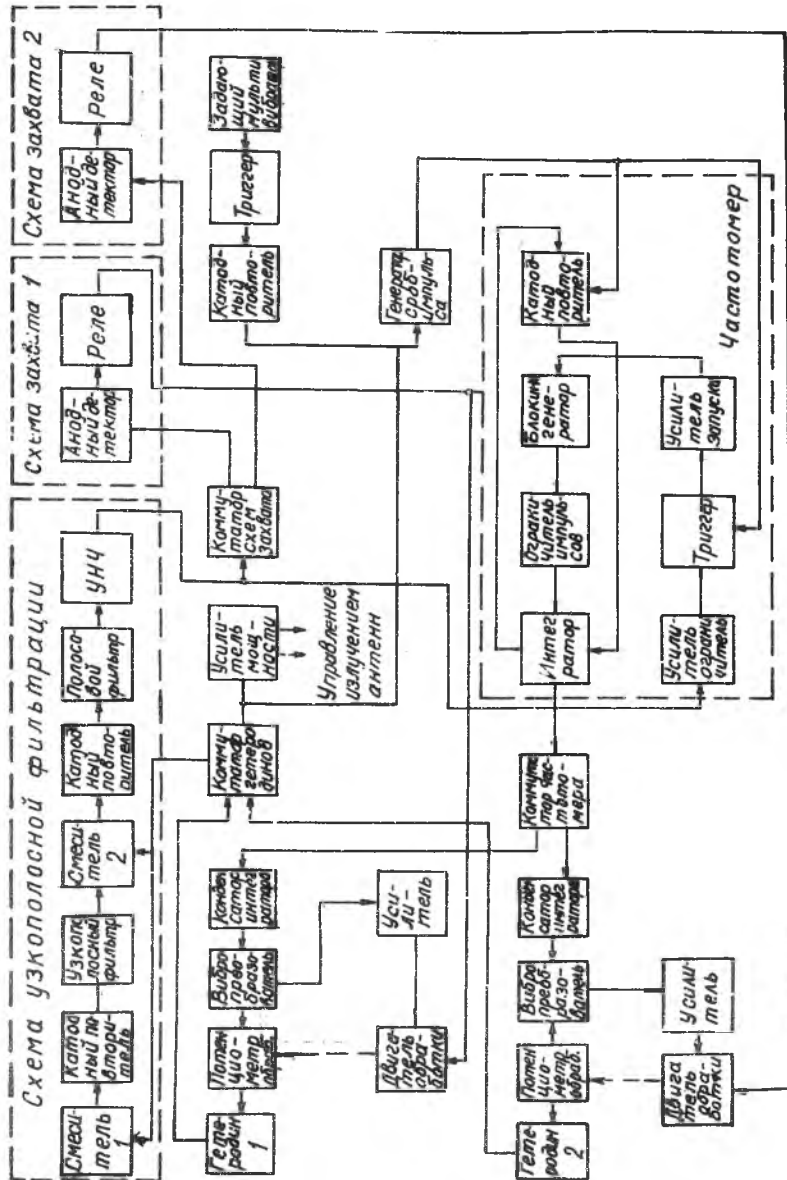


Рис. 7. Функциональная схема устройства фильтрации и измерения частоты измерителя ДИОС-3

Частотомер состоит из следующих элементов: усилителя-ограничителя, триггера, усилителя запуска, блокинг-генератора, ограничителя импульсов, интегратора и катодного повторителя. Эпюры напряжений в схеме частотомера приведены на рис. 8.

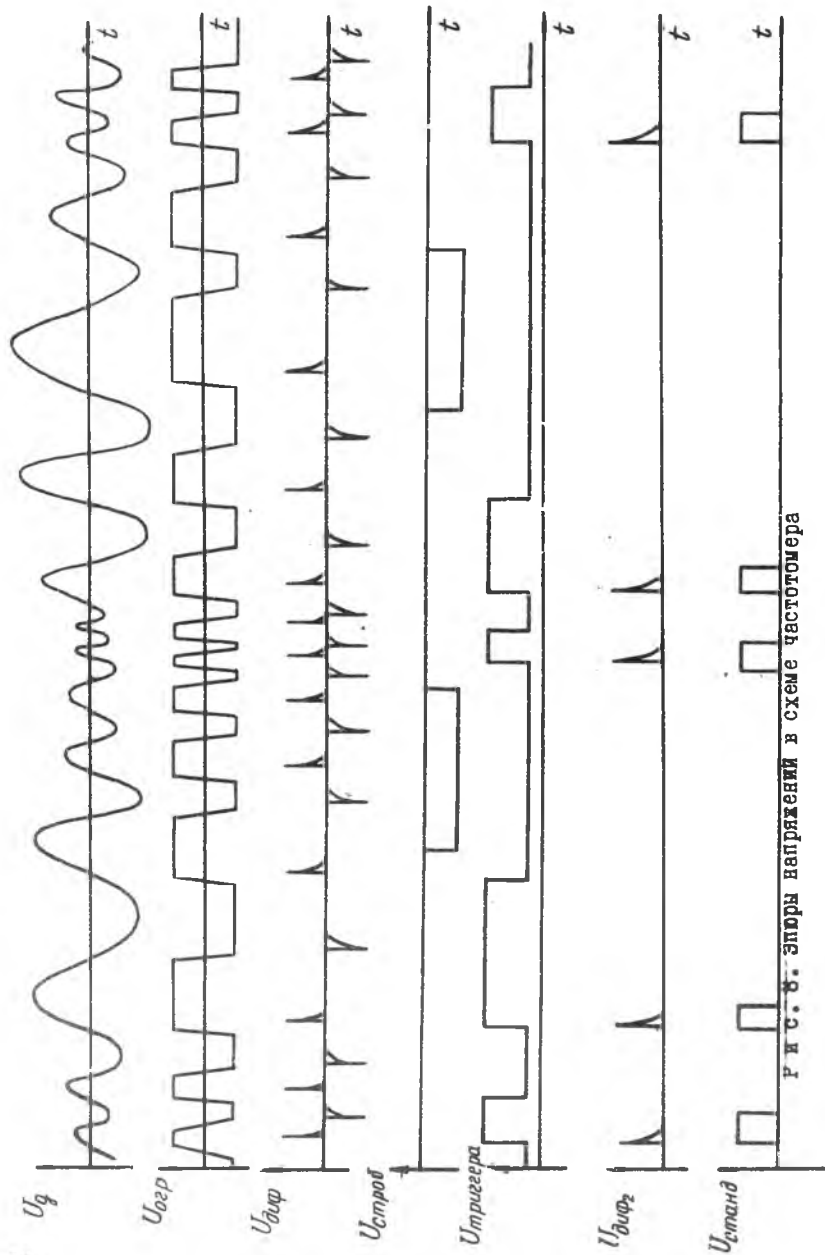
Сигнал доплеровской частоты усиливается, ограничивается в усилителе-ограничителе и затем дифференцируется. Импульсы положительной полярности, получаемые таким образом, используются для формирования стандартных импульсов. В измерителе ДИСС-3 это производится следующим образом. Импульсы, полученные в результате дифференцирования доплеровского сигнала, запускают триггер. Триггер изменяет свое состояние с каждым из этих импульсов. Для исключения влияния переходных процессов, возникающих в приемнике во время переключения антенны, на триггер в это время подается строб-импульс. В течение времени действия строба импульсы, действующие на вход триггера, не изменяют его состояния, т.е. входной сигнал отключается от триггера. Импульсы триггера, в свою очередь, дифференцируются и через усилитель запуска запускают ждущий блокинг-генератор. В схеме блокинг-генератора приняты меры для стабилизации длительности импульсов. Формирование импульсов по амплитуде осуществляется с помощью ограничителя импульсов. Таким образом получаются стандартные импульсы.

Стандартные импульсы подаются на счетчик импульсов, функции которого выполняет интегратор.

Для обеспечения линейности характеристики счетчика в интеграторе введена положительная обратная связь через катодный повторитель. На интегрирующей емкости образуется постоянное напряжение, пропорциональное среднеквадратической частоте доплеровского сигнала.

В схеме интегратора имеются два интегрирующих конденсатора, которые подключаются поочередно к интегратору через коммутатор частотомера синхронно с переключением антенны. На каждом из этих конденсаторов вырабатываются постоянные напряжения - приборные аналоги скоростей, измеренных по каждой из этих пар антенн измерителя.

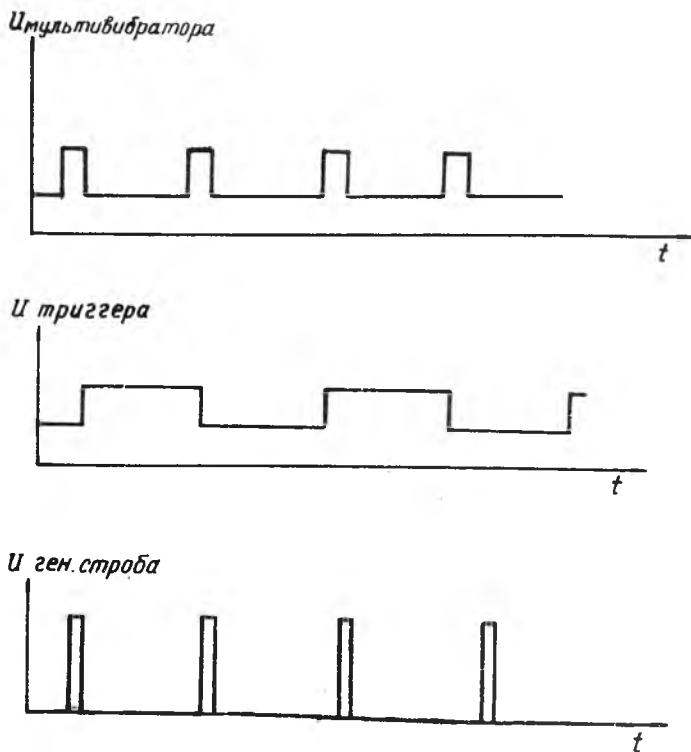
Во время действия строб-импульса, когда на вход интегратора импульсы не поступают, интегратор переходит в режим "ПАМЯТЬ". Это происходит под воздействием строб-импульса, который заводится также в схему интегратора.



Р и с. 6. Элементы напряжений в схеме частотомера

Хронизирующим генератором, определяющим периодичность работы измерителя, является задающий мультивибратор, который запускает триггер. Триггер выдает напряжение вида "меандр", частота которого равна 5 Гц. Импульсы триггера через катодный повторитель управляют коммутаторами схем захвата, частотомера, гетеродинов и через усилитель мощности — излучением антенны. Импульсы триггера подаются также на вход генератора строб-импульсов. Этот генератор выдает импульсы на каждый перепад напряжения "меандр".

Работа хронизатора поясняется эфирными напряжениями, приведенными на рис. 9.



Р и с. 9. Эфирные напряжения в схеме хронизатора

3. Описание экспериментальной установки

Экспериментальная установка включает в себя часть блоков доплеровского измерителя ДИСС-3, генератор сигналов (ГС) высокой частоты, звуковой генератор (ЗГ), осциллограф, вольтметр, генератор шума (ГШ), пульт управления (ПУ).

Структурная схема экспериментальной установки приведена на рис. IО, схема соединений аппаратуры - на рис. II. Подробное описание установки приведено в лабораторной работе № 9. Ниже описаны особенности подключения аппаратуры, характерные для данной лабораторной работы.

Генератор сигналов является имитатором опорного и "отраженного от земли" сигналов. Величина доплеровской частоты определяется частотой сигнала ЗГ. Для имитации флуктуационных помех сигнал ЗГ суммируется с сигналом ГШ с помощью тумблера "ГШ" (в положении "ВКЛ"). Для контроля сигналов в тракте ДИСС-3 используется осциллограф, подключаемый в различные точки схемы ДИСС-3 с помощью переключателя "Контроль". Наблюдение ведется на гнезде "ВЫХ" ПУ.

Напряжения на интеграторах измеряются вольтметром на выходе ПУ.

Для изучения эффективности работы схемы узкополосной фильтрации предусмотрена возможность отключения ее с помощью тумблера "УЗК.ФИЛЬТР". При этом сигнал на частотомер ДИСС-3 подается, минуя схему узкополосной фильтрации.

4. Порядок выполнения лабораторной работы

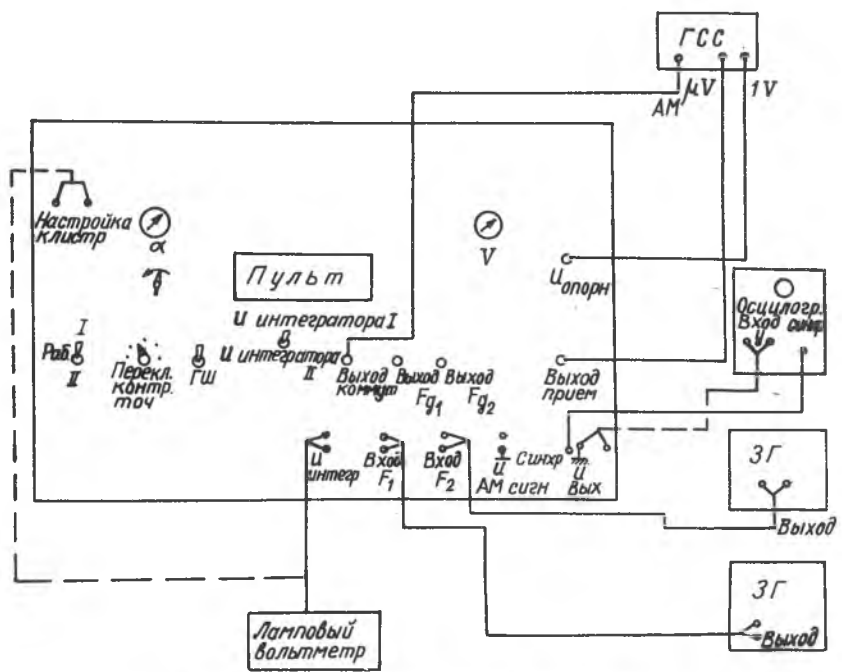
ВНИМАНИЕ! Доплеровский измеритель ДИСС-3 питается от сети I15 В, 400 Гц; измерительная аппаратура - от сети 220 В, 50 Гц. Ошибка в подключении сети питания приводит к выходу аппаратуры из строя. Включение экспериментальной установки производится только с разрешения преподавателя или лаборанта.

Экспериментальная часть работы состоит в следующем:

I. Ознакомиться с установкой и схемой соединений ПУ с приборами. Переключатель "РАБОТА" установить в положение "2".



Р и с. 10. Структурная схема экспериментальной установки



Р и с. 11. Схема соединений аппаратуры

2. С разрешения преподавателя включить аппаратуру. После прогрева аппаратуры подать сигнал ГС с выхода "IV" на вход "Убор" ПУ. Частота сигнала ГС устанавливается ориентировочно 20 мГц, уровень сигнала - 3 - 5 мВ.

3. Подключить один из звуковых генераторов к гнезду "Вход F_{g1} " или "Вход F_{g2} ". Вход "АМ" ГС соединить с соответствующим гнездом "ВХ. F_{g1} " или "ВХ. F_{g2} ". Установить на выходе ЗГ частоту сигнала порядка (5-6 кГц) уровень - (0,6 - 0,7 В). Измеритель при этом должен перейти в режим захвата по обоим каналам.

Просмотреть эпюры напряжений в точках I-9 схемы измерителя ДИСС-3 при нескольких значениях частоты доплеровского сигнала. Зарисовать эпюры для одного значения частоты Допплера. Дать объяснение этим эпюрам. Подключение осциллографа к точкам наблюдения осуществляется с помощью переключателя "КОНТРОЛЬ". Наблюдение ведется на клеммах "U_{св/х}". Соответствие между положением переключателя и точкой схемы измерителя ДИСС-3 устанавливается табл. I.

Т а б л и ц а I

Положение переключателя "КОНТРОЛЬ"	Точка наблюдения
1.	Выход приемника
2.	Выход УНЧ
3.	Выход задающего мультивибратора
4.	Выход строб-импульса
5.	Выход гетеродина I
6.	Выход гетеродина II
7.	Выход сигналов гетеродинов
8.	Выход импульсов блокинг-генератора
9.	Выход триггера частотомера

4. Установить уровень доплеровского сигнала (сигнала ЗГ) порядка 0,6 В, частоту сигнала порядка 6 кГц. Произвести измерение напряжения на выходе одного из интеграторов (на гнезде "ВХ. ИНТЕГР.") при включенной и выключенной схеме узкополосной фильтрации с помощью лампового вольтметра.

5. Включить генератор шума. С помощью осциллографа установить отношение сигнала к шуму, равное 1,5 (наблюдение вести с помощью осциллографа на гнезде "КОНТРОЛЬ" в первом положении переключателя "КОНТРОЛЬ"). Включить тумблер "УЗК.ФИЛЬТР."

Произвести 10 измерений на выходе подключенного интегратора с интервалами 7 - 10 с, не изменяя величины сигналов ЗГ и ГШ. Вычислить среднее значение m_{cp} и среднеквадратическую ошибку σ измерений по следующим формулам:

$$m_{cp} = \frac{\sum \chi_i}{n}; \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum (\chi_i - m_{cp})^2}{n-1}}$$

6. Выключить тумблер "УЗК.ФИЛЬТР.". При этом схема узкополосной фильтрации отключается. Повторить измерения по п. 5.

7. При выключенной схеме узкополосной фильтрации увеличить интенсивность шума до "забивания" частотомера шумом и перехода ДИСС-3 из режима "захвата" в режим "поиска". Затем включить схему узкополосной фильтрации и проверить работоспособность измерителя ДИСС-3. Измерить величину отношения сигнала к шуму.

8. Выключить измеритель ДИСС-3 и все приборы.

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

1. Какова структура и характеристики доплеровского сигнала и факторы их определяющие?
2. Назовите основные способы измерения частоты доплеровского сигнала, в чем их существо и каковы их свойства?
3. В чем состоит принцип действия устройства измерения доплеровской частоты измерителя ДИСС-3?
4. Рассказать о построении и работе устройства измерения частоты измерителя по функциональной схеме.
5. Рассказать о построении и работе отдельных узлов устройства измерения доплеровской частоты по их принципиальным электрическим схемам.
6. Рассказать об экспериментах, выполненных в работе, и прокомментировать их результаты.

6. С о д е р ж а н и е о т ч е т а

1. Функциональная схема измерителя.
2. Результаты экспериментов по п.п. 1-6.
3. Выводы о проделанной работе.

Л и т е р а т у р а

1. Белавин О.В. Основы радионавигации. - М.: Советское радио.
2. Казаринов Ю.М. Радиотехнические системы. - М.: Советское радио.

Составитель Виктор Дмитриевич Кузенков

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ДОПЛЕРОВСКОЙ
ЧАСТОТЫ ИЗМЕРИТЕЛЯ СКОРОСТИ ДИСС-3

Лабораторная работа № 10

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 1.03.82 г.
Формат 60x84 1/16. Бумага оберточная белая.
Печать оперативная. Усл.п.л. 1,16. Уч.-изд.л. 1,1.
Тираж 250 экз. Заказ № 2892 Бесплатно.

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

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