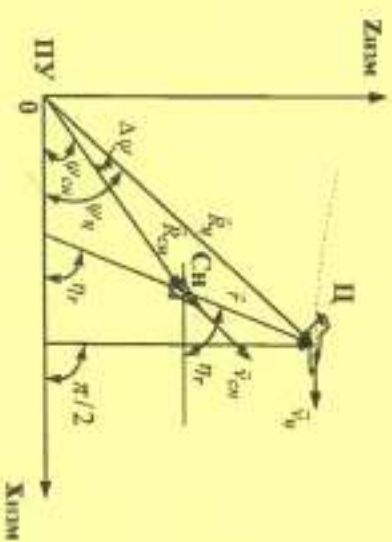


СИСТЕМЫ РАДИОУПРАВЛЕНИЯ

Методические указания к лабораторным работам № 1,2



Системы радиуправления: методические указания к лабораторным работам № 1, 2 / Разан. гос. радиотехн. ун-т; сост.: В.С.Паршин, М.В.Кузнецов. Разань, 2017. 24 с.

Изложены особенности построения и выбор основных параметров системы управления в плоскости равных запаздываний (работа № 1) и командной радиополосы ВЧМ-НЧМ-АМ (работа № 2).

Предназначены для студентов 4-го курса специальности 11.05.01 факультета радиотехники и телекоммуникаций.

Табл. 2. Ил. 15. Библиогр.: 3 назв.

Радиуправление, радиосвязная зона, плоскость равных запаздываний, командная радиополоса, импульсно-временной код

Печатается по решению редакционно-издательского совета Разанского государственного радиотехнического университета.

Рецензент: кафедра радиуправления и связи Рязанского государственного радиотехнического университета (зав. кафедрой С.Н.Кириллов)

Системы радиуправления

Составители: Паршин Валерий Степанович
Кузнецов Марина Васильевна

Редактор Р.К. Манутова

Корректор Н.А. Орлова

Подписано в печать 20.09.17. Формат бумаги 60х84 1/16.

Бумажный лист. Печать: графическая. Усл. печ. л. 1,5.

Тираж 50 экз. Заказ 33374

Рязанский государственный радиотехнический университет.

390005, Рязань, ул. Гагарина, 59/1.

Редакционно-издательский центр РГТУ.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ В ПЛОСКОСТИ РАВНЫХ ЗАПАЗДЫВАНИЙ

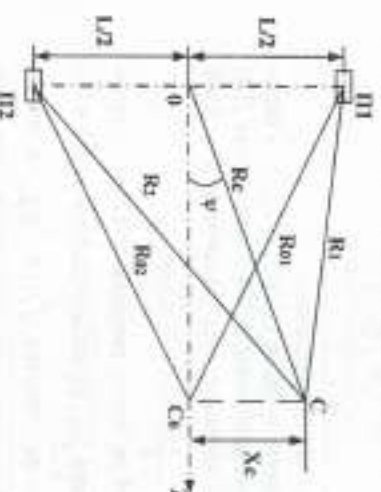
ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Изучение системы управления в плоскости равных запаздываний.
2. Исследование воздействия шума на радиотехническую систему управления.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

1. Принцип действия

Пункты управления П1 и П2, разнесенные на базу L и излучающие синхронно импульсы, создают плоскость равных запаздываний (рис. 1).



Когда сигнал находится в этой плоскости (точка C_0), сигналы на сигнал от пунктов управления приходят одновременно, так как $R_{01} = R_{02}$. При отходе сигнала от плоскости равных запаздываний (точка C) сигналы от пунктов управления придут после их излучения на сигнал с задержками $t_1 = R_1/c$ и $t_2 = R_2/c$

Рис. 1. Плоскость равных запаздываний (c – скорость распространения радиоволн).

При выполнении условия $L \ll R_c$ и небольшом угле отклонения сигнала от оси Z угловое отклонение сигнала определяется приближенным равенством

$$\psi \approx \frac{t_2 - t_1}{L} c. \quad (1)$$

Величина линейного отклонения

$$x_c = R_c \psi. \quad (2)$$

Структурная схема системы управления в плоскости равных значений приведен на рис. 2. Временные диаграммы сигналов в характерных точках структурной схемы представлены на рис. 3.

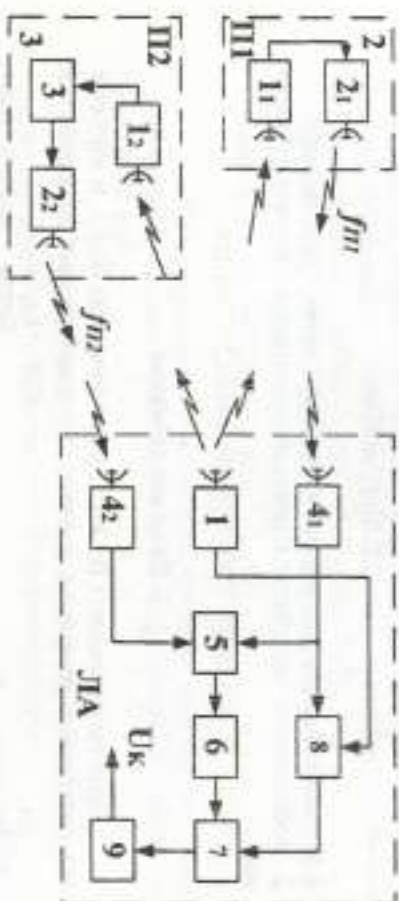


Рис. 2. Схема системы управления:

1 — радиоприемник ДА; 1₁, 1₂ — приемники пунктов П1 и П2; 2, 2₁ — передатчик пунктов П1 и П2; 3 — линия задержки; 4, 4₁ — приемники ДА; 5 — триггер; 6 — демодулятор; 7 — потенциометр дальности; 8 — блок дальности; 9 — фильтр

Радиомаяк 1, установленный на борту снаряда, излучает радиопульсы на частоте f_c с периодом T_0 . Пункты управления П1 и П2 принимают сигналы излучения на частотах $f_{П1}$ и $f_{П2}$, не меняя частоты повторения и длительности импульсов излучения. При этом на пункте П2 сигналы задерживаются на половину периода посылки $T_3 = T_0/2$. Частоты $f_{П1}$, $f_{П2}$ и полосу пропускания бортовых радиоприемных устройств выбираются таким образом, что прием сигналов с частотой $f_{П2}$ первым бортовым радиоприемным устройством неключен, также и прием сигналов с частотой $f_{П1}$ вторым радиоприемным устройством, установленным на борту управляемого снаряда.

Сигналы, принятые бортовыми приемниками с пунктов управления (рис. 3, временные диаграммы 5, 6), в результате соответствующего преобразования преобразуются в видеопульсы, которые воздействуют на триггер. На выходе триггера получается напряжение

прямоугольной формы (рис. 3, диаграмма 7), которое управляет работой демодулятора временных интервалов. Фильтр нижних частот выделяет постоянную составляющую напряжения на выходе демодулятора, которая и представляет собой напряжение управляющего сигнала, поступающего затем на органы управления ДА.

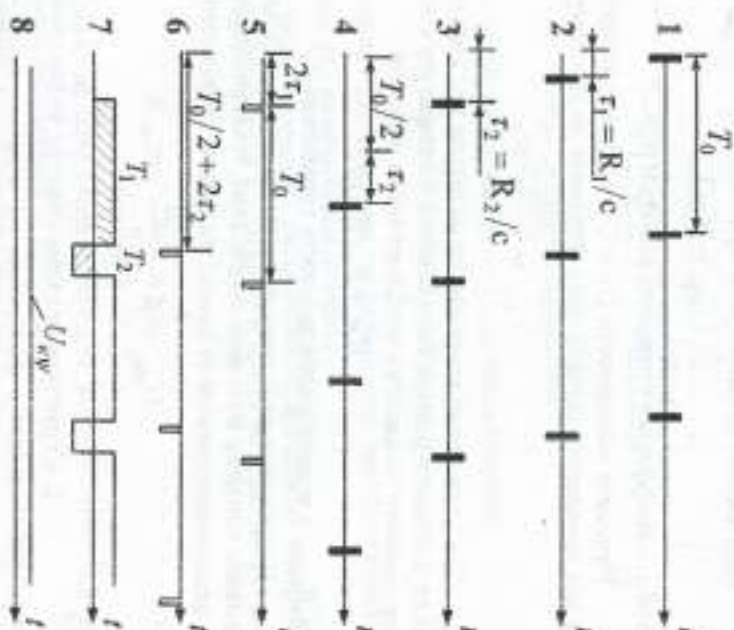


Рис. 3. Временные диаграммы:

1 — излучаемые сигналы; 2, 3 — сигналы, принимаемые приемниками пункта управления; 4 — сигнал на выходе линии задержки; 5, 6 — сигналы, принимаемые приемниками ДА; 7 — сигнал на выходе триггера; 8 — командный сигнал

Из временных диаграмм можно установить, что коэффициент

$$Q = (T_1 - T_2)/T_0.$$

определений длительностью положительного и отрицательного импульсов триггера 5, зависит от задержек τ_1 и τ_2 :

$$\bar{Q} = 4(\tau_2 - \tau_1)/T_0. \quad (3)$$

Напряжение на выходе демодулятора

$$U_{\kappa\psi} = K_d \bar{Q},$$

где K_d — коэффициент передачи демодулятора.

Учитывая зависимость (1) и (3), получаем следующее выражение для командного сигнала при управлении по угловому отклонению:

$$U_{\kappa\psi} = 4 \frac{K_d L}{c T_0} \psi. \quad (4)$$

Для управления снарядом по величине его линейного отклонения от плоскости равных запаздываний в аппаратуру снаряда вводится потенциометр дальности с коэффициентом передачи

$$K_R = R_c / R_{\max}, \quad (5)$$

где $R_{\max}$ — максимальная дальность управления.

Напряжение демодулятора подается на потенциометр дальности, с выхода которого получаем напряжение, пропорциональное линейному отклонению снаряда от плоскости равных запаздываний:

$$U_{\kappa c} = 4 \frac{K_d L}{c T_0 R_{\max}} x_c. \quad (6)$$

2. Структурная схема контура управления

На рис. 4 приведена структурная схема замкнутого контура управления рассматриваемой системы разномасштабного в плоскости равных запаздываний.

Направление полета определяется плоскостью равных запаздываний, и управление снарядом подчинено условию $\psi_z = 0$.

Фактическое направление полета, определенное углом ψ_c , является ошибкой управления. Угловая ошибка управления подается на разномасштабное, состоящее из четырех последовательно соединенных звеньев. Первое из этих звеньев определяет связь между угловой ошибкой управления ψ_c и разностью временных интервалов $(\tau_1 - \tau_2)$. Это звено может считаться безынерционным. Коэффициент

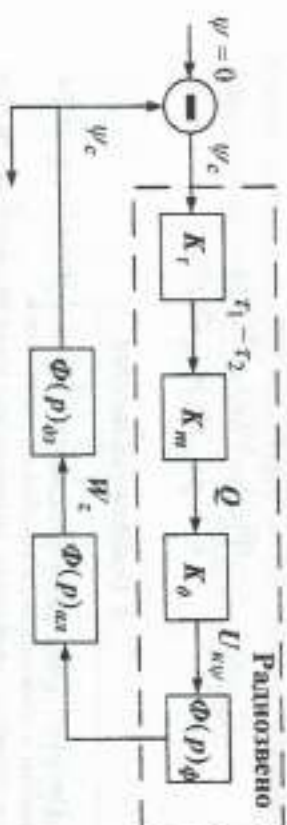


Рис. 4. Контур управления

передачи первого звена определяется следующим образом:

$$K_r = \frac{\tau_1 - \tau_2}{\psi_c} = \frac{L}{c}. \quad (7)$$

Соотношение (7) определяет коэффициент преобразования угловой величины ψ_c во временной интервал.

Второе звено определяет связь разности временных интервалов $(\tau_1 - \tau_2)$ с коэффициентом команды $\bar{Q}$ и имеет коэффициент передачи

$$K_m = \frac{\bar{Q}}{\tau_1 - \tau_2} = \frac{4}{T_0}. \quad (8)$$

Таким образом, коэффициент передачи второго звена K_m задается параметрами передатчика на борту ЛА.

Третье звено является демодулятором временных интервалов. Его коэффициент передачи

$$K_d = \frac{U_{\kappa\psi}}{\bar{Q}}. \quad (9)$$

Четвертой структурной единицей разномасштабного является фактор демодулятора (ФНЧ), имеющий передаточную функцию $\Phi(p)\phi$.

Связь командного сигнала с ускорением снаряда определяется передаточной функцией снаряда $\Phi(p)\omega$. Угловое подомещение снаряда связано с его угловым ускорением через динамическое звено с передаточной функцией $\Phi(p)dz$.

Передающая функция контура управления:

$$\Phi(p)^{k\psi} = \frac{\Phi(p)_{pz} \Phi(p)_{ax} \Phi(p)_{az}}{1 + \Phi(p)_{pz} \Phi(p)_{ax} \Phi(p)_{az}} \quad (10)$$

3. Ошибки управления

Наиболее характерны следующие факторы, обуславливающие радиотракт и приводящие к ошибкам в управлении.

1. Ошибка управления, возникающая из-за неидентичности первого и второго радиоканалов на борту ЛА, в отношении времени прохождения через них импульсов сигнала (задержка сигнала в радиоканалах). Если разность времени прохождения импульсов через первый и второй радиоканалы обозначить ΔT_r , то изменение угла видирования в соответствии с формулой (1) будет осуществляться с ошибкой

$$\Delta \psi \approx \frac{\Delta T_r}{L} c.$$

В результате управление снарядом также будет осуществляться с соответствующей ошибкой.

2. Ошибка наведения, возникающая из-за неправильной постановки плоскости равных запаздываний. К ошибке наведения может привести также неправильная установка времени задержки или неточная ориентация базы. Эти ошибки могут быть уменьшены специальной корректировкой радиосистемы.

3. При высоких требованиях к точности наведения существуют следующие факторы, обуславливающие ошибки управления, возникающие вследствие неоднородности трасс. Это является причиной случайных или не подлежащих учету регулярных изменений скорости распространения радиоволн, что в свою очередь, вызовет флуктуации значений интервалов времени запаздывания T_1 и T_2 .

4. Ошибка управления, определяемая собственными шумами, а также другими помехами, действующими на входах радиоприемных устройств, находящихся на борту и на опорных пунктах.

Наличие шумов приводит к флуктуациям временного положения импульсов, поступающих на триггер бортового приемника. Следствием этого является изменение временных интервалов T_1 и T_2 , оптимизирующих коэффициент команд, что создает шумовое напряжение на выходе демодулятора. В структурной схеме контура управления

влияние шума отражается введением в контур демодулятора случайного процесса со спектральной плотностью $G(0)_{ш0}$ (рис. 5).

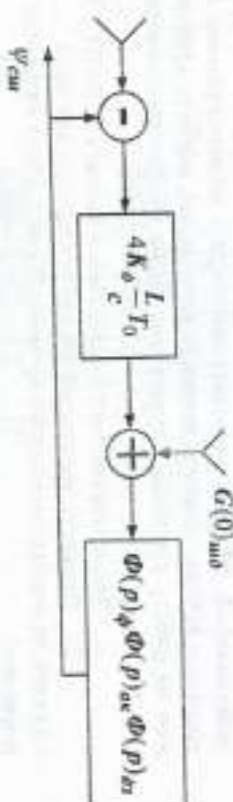


Рис. 5. Эквивалентная схема контура

Спектральная плотность шума в контуре:

$$G(0)_{ш0} = \frac{K_0^2 G_{шax}}{T_0^2 \Delta f_{ax}^2 P_{ax}} \quad (11)$$

где $G_{шax}$ - спектральная плотность шума на входе приемных трактов; P_{ax} - мощность сигнала в импульсе на входе приемного тракта; Δf_{ax} - полоса пропускания радиоканала; T_0 - период следования зондирующих импульсов.

Средняя квадратическая ошибка, обусловленная шумами в бортовых трактах, определяется формулой:

$$\sigma_{\psi_{ш}} = K_{\phi} \sqrt{\frac{\tau_{\phi} T_0 \Delta f_2}{q}} \quad (12)$$

где q - отношение сигнал/шум; τ_{ϕ} - длительность фронта импульса; K_{ϕ} - коэффициент пропорциональности; T_0 - период следования импульсов; Δf_2 - эффективная полоса контура.

Как видно из полученного выражения, ошибку управления из-за шумов приемника можно уменьшить, увеличивая частоту повторения импульсов $F_0 = 1/T_0$, если при этом сохраняется неизменной импульсная мощность. Соотношение (12) положено в основу построения лабораторной установки.

ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА

В системе SystemView создан файл ПРЗ 3.svc, содержащий схему, имитирующую работу системы управления в плоскости равных запаздываний. Модель позволяет посмотреть осциллограммы в контрольных точках, оценить точность управления, оценить влияние шумов на работу системы. Структурная схема имитатора приведена на рис. 6.

1. Запустить систему SystemView и вызвать файл ПРЗ 3.svc.
2. Провести временной анализ устройства, для чего:

- нажать на кнопку системного времени (System Time) на панели инструментов;
- в окне Stop Time установить время анализа 0,3 с и нажать ОК;
- нажать кнопку $\blacktriangleright$ основного меню.

Зарисовать все приведенные осциллограммы. Номер каждой осциллограммы (например, Sink 3) соответствует номеру блока отображения данных (например, 3). Чтобы определить название устройства, к которому подключен блок отображения данных, достаточно подвести курсор к нужному блоку. Всплывающее полеика содержит название устройства и его основные характеристики. Сигнал на выходе ФНЧ зарисовать при времени анализа 2 с.

3. Исследовать ошибку наведения, возникающую из-за неправильной постановки плоскости равных запаздываний, для чего:
 - по изложенной выше методике установить время анализа, равное 2 с;
 - двойным нажатием левой кнопки мыши открыть метасистемы 75 и 78 (имитатор задержки сигнала 1 и 2);
 - дважды щелкнуть левой кнопкой мыши на значке задержки сигнала 1;

- нажать кнопку Parameters вызвать окно установки параметров;
- установить время задержки (Delay), равное 0, что соответствует однократному приходу сигналов на пункты 1 и 2, и нажать ОК, закрыть метасистемы;
- дважды щелкнуть левой кнопкой мыши на блоке 18 (ЛЗ);
- установить время задержки (Delay), равное 0,035 с, и нажать ОК;
- нажать кнопку $\blacktriangleright$;
- записать в таблицу значение командного напряжения U_c (значение командного напряжения отображает устройство Sink 64);
- изменить значение задержки на 0,005 с и повторить изложенные выше операции (значение задержки изменить до 0,075 с).

По результатам эксперимента построить график и установить оптимальное время задержки в ЛЗ (блок 18).

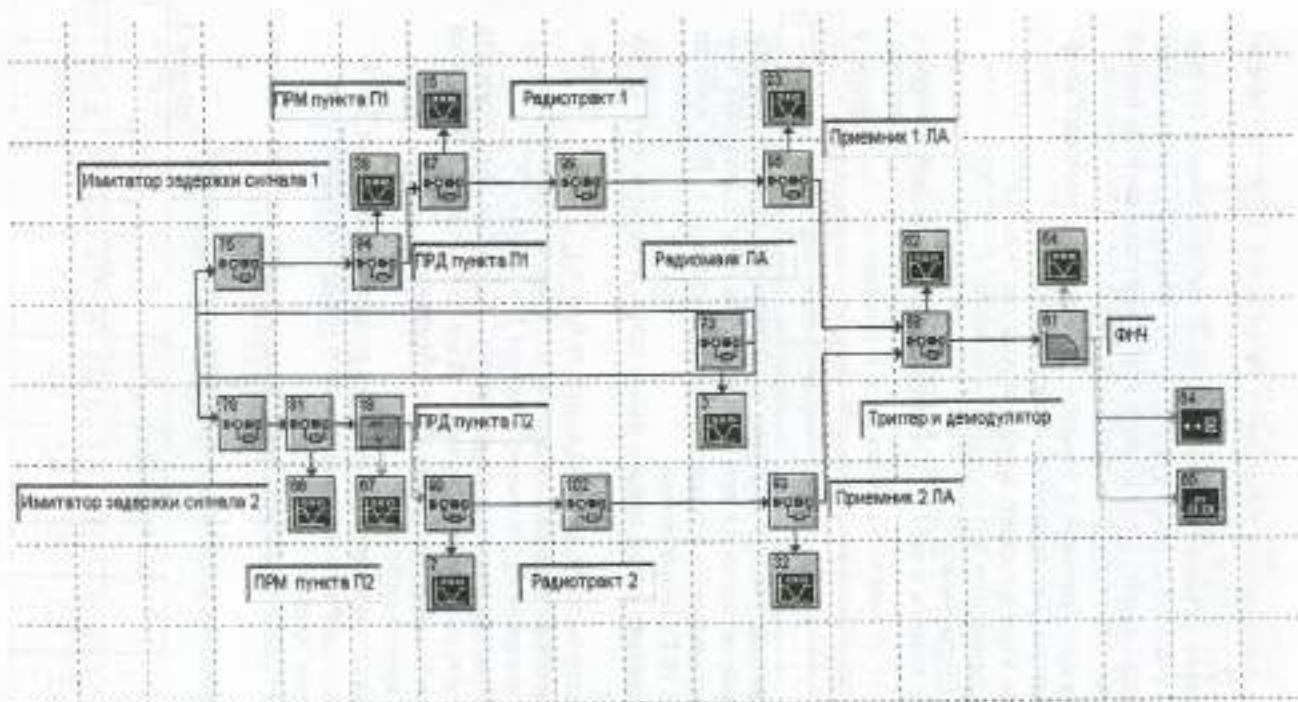


Рис. 6. Структурная схема лабораторной установки

4. Снять зависимость командного напряжения U_c от коэффициента команды Q , для чего:

- последовательно установить время задержки сигнала пункта П1 (метастабель 75) $\tau = 0,0375$ с; 0,025 с; 0,0125 с; 0 с, а далее, не меняя время задержки сигнала пункта 1, установить время задержки сигнала пункта П2 (метастабель 78) $\tau = 0,0125$ с; 0,025 с; 0,0375 с.

Для каждого значения τ записать U_c и оценить значения коэффициента команды Q по приведенной ниже методике:

- войти в меню View и выбрать функцию Analysis Window;
- по осциллограмме (Sink 62) определить значения T_1 , T_2 , T_0 ;
- по формуле (3) посчитать Q .

Данные занести в табл. 1. По результатам измерений построить график.

Таблица 1

Q									
U_c									

5. Убедиться, что при заданном коэффициенте команды командное напряжение не меняется при изменении частоты повторения зондирующих импульсов F_0 . Установить время анализа 10 с. Для изменения F_0 (от 1 Гц до 10 Гц) необходимо:

- двойным нажатием левой кнопки мыши открыть метастабель 73 (радиодиаз ЛА);
 - дважды щелкнуть левой кнопкой мыши на блоке 1;
 - нажатием кнопки Parameters вызвать окно установки параметров;
 - установить значение F_0 (Frequency), равное 1, и нажать ОК.
- Внимание! При каждом изменении частоты F_0 необходимо изменить параметры системы: время задержки τ (блок 18) и частоту настройки ФНЧ F_H (блок 61). Для изменения F_H необходимо:

- установить курсор на блоке 61;
- двойным нажатием левой кнопки мыши вызвать контекстное меню;
- нажатием кнопки Parameters вызвать окно установки параметров;
- нажать кнопку Analog;
- в окне Low Cutoff установить требуемое значение частоты и нажать ОК.

В табл. 2 приведены значения τ и F_H для каждого значения F_0 .

Таблица 2

F_0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Гц	0,5	0,25	0,15	0,125	0,1	0,083	0,0714	0,0629	0,059	0,055
F_H	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Гц										

Снять зависимость U_c от F_0 при $Q=0$. Построить график.

6. Оценить влияние шума на работу системы. Установить время анализа 2 с. Решение о значении командного напряжения принимается путем усреднения 10 значений U_c .

- установить $F_0=10$ Гц и соответствующим τ и F_H ;
- двойным нажатием левой кнопки мыши открыть метастабель 99 (радиодиаз ЛА);
- дважды щелкнуть левой кнопкой мыши на блоке 28 (источник гауссовского шума);

- нажатием кнопки Parameters вызвать окно установки параметров;
- установить значение U_m (Std Deviation), равное 0,25, и нажать ОК;
- повторить установку параметров для блока 27 метастабель 102 (радиодиаз 2).

По методике, изложенной в п. 4, снять зависимость $\langle U_c \rangle = f(Q)$, где $\langle U_c \rangle$ - усредненное значение 10 реализаций командного напряжения. Значение $\langle U_c \rangle$ отображает устройство Sink 65 (Графа Meta). Для получения 10 реализаций необходимо:

- нажать на кнопку системного времени (System Time) на панели инструментов;
- в графе No. of System Loops установить количество запусков системы, равное 10, и нажать ОК.

Снять зависимость $\langle U_c \rangle = f(Q)$ для значений U_m , равных 0,5 и 1. Построить графики.

7. Снять зависимость командного напряжения от частоты повторения зондирующих импульсов при заданном коэффициенте команды ($Q=0$) при воздействии шума.

- установить количество запусков системы, равное 50;
- установить $U_m=1$;
- по методике, изложенной в п. 5, снять зависимость $\langle U_c \rangle = f(F_0)$ и построить график;
- 8. Объяснить полученные результаты.
- 9. Составить отчет.

СОДЕРЖАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Ознакомиться со структурной схемой имитатора и знать ее работу.
2. Знать ответы на контрольные вопросы.
3. Подготовить бланк отчета.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Принцип действия системы управления в плоскости равных запаздываний.
2. Замкнутый контур управления и передаточные функции его звеньев.
3. Назначение потенциометра дальности.
4. Что такое эквивалентная полая пропускания контура и как ее определить?
5. Составляющие ошибки наведения и их связь с параметрами системы управления.
6. Влияние шума на ошибку наведения.
7. Структурная схема имитатора лабораторной установки.
8. Как выбрать T_0 и L ?
9. Чему равно минимальное значение средней квадратической ошибки управления, обусловленной шумами?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вейцель В.А., Титутин В.Н. Радиоуправление. - М.: Сов. радио, 1973. 464 с.
2. Основы радиоуправления / под ред. В.А. Вейцеля - М.: Радио и связь, 1995. 327 с.

УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Во избежание поражения электрическим током каждый студент при выполнении лабораторной работы обязан соблюдать следующие меры предосторожности.

1. Перед включением установки убедиться, что все межблочные соединения не нарушены.
2. При включении и выключении рубильников не касаться земляных предметов, а также батарей центрального отопления.
3. Не оставлять без наблюдения лабораторную установку, находящуюся под напряжением.
4. В случае неисправности аппаратуры немедленно выключить рубильник питания аппаратуры и сообщить об этом преподавателю.
5. Окончив работу, выключить все блоки и привести в порядок рабочее место.

Лабораторная работа № 2

КОМАНДНАЯ РАДИОЛИНИИ ВИМ-ИВК-АМ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Изучение командной радиолинии ВИМ-ИВК-АМ.
2. Оценка аппаратурной точности передачи команды в линии ВИМ-ИВК-АМ.
3. Исследование воздействия шумов на точность передачи команд в линии ВИМ-ИВК-АМ.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

1. Общая характеристика командного радиоуправления

Для командного радиоуправления характерным является формирование команды управления движением летательного аппарата (ЛА) на пункте управления и передача их на борт ЛА с помощью специальной командной радиолинии. Чтобы сформировать команду на пункте управления, необходимо иметь на нем данные о параметрах движения цели и ЛА. В зависимости от способа получения этой информации командное радиоуправление (КРУ) разделяется на три вида: КРУ-1, КРУ-2, КРУ-3.

При КРУ-1 параметры движения цели и ЛА измеряются непосредственно на пункте управления с помощью радиолокаторов. По данным радиолокаторов вычислительное устройство с учетом метода наведения выработывает команду управления, передаваемую с помощью командной радиолинии на борт ЛА. На пункте управления находится передатчик командной радиолинии (КРЛ), а на борту - приемник КРЛ. Принятая на борту команда поступает на автопилот, который через органы управления меняет пространственное положение ЛА.

При КРУ-2 радиолокатор цели устанавливается на борту ЛА, оценивая положение цели относительно ЛА. На пункт управления эта информация передается по специальной линии связи. Выработка команды управления и передача их на борт ЛА осуществляются, как и при КРУ-1. Установка радиолокатора цели на борт ЛА обеспечивает управление ЛА при нахождении цели за радиогоризонтом.

КРУ-3 является частным случаем КРУ-1. Его особенность состоит в том, что цель отождествляется с положением радиолокатора, т.е. осуществляется наведение «на себя».

2. Принцип действия командной радиолинии ВИМ-ИВК-АМ

Линия ВИМ-ИВК-АМ использует импульсный режим включения, временное уплотнение каналов и при импульсной поднесущей имеет при ступени преобразования командного сигнала.

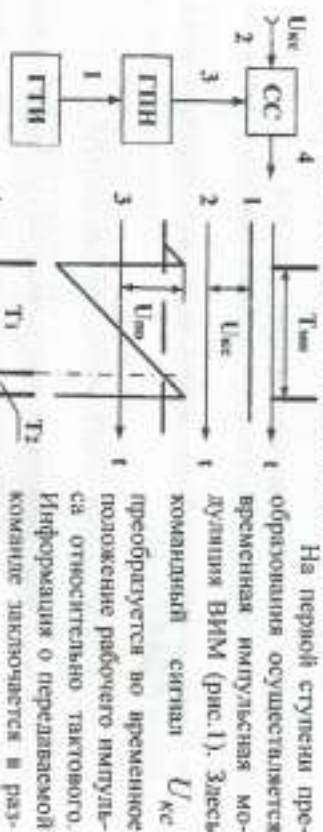


Рис. 1. Формирователь ВИМ

T_1 , T_2 и характеризуется коэффициентом команды

$Q_k = (T_1 - T_2) / T_{ин}$, при этом $T_{ин} = T_1 + T_2 = const$ - период манипуляции. Осуществляется ВИМ по схеме рис. 1. Генератор тактовых импульсов ГПН обеспечивает запуск генератора пилообразного напряжения ГПН. Командный сигнал и пилообразное напряжение подаются на схему сравнения СС, которая в момент достижения пилообразным напряжением уровня командного сигнала вырабатывает рабочий импульс РИ. С изменением уровня команды рабочий импульс перемещается между тактовыми импульсами ТИ, при этом коэффициент команды пропорционален командному сигналу $Q_k = U_{kc} / U_{п0}$.

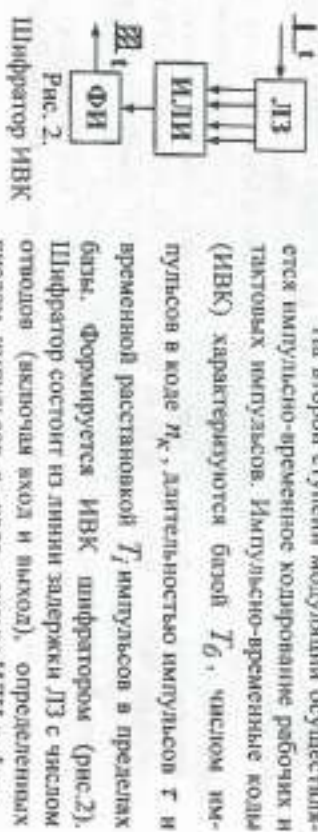


Рис. 2.

Шифратор ИВК

мирователя импульсов ФИ.

Полученные ИВК тактовых и рабочих импульсов объединяются в единый групповой сигнал $U(t)_M$, поступающий на модулятор передатчика, обеспечивая амплитудную манипуляцию (третья ступень модуляции) несущего колебания.

На приемной стороне для получения команды осуществляется амплитудное детектирование несущего колебания, в результате которого выделяется групповой сигнал $U'(t)_M$, далее идут нормирование его к импульсам единого уровня и длительности, затем дешифрация ИВК и демодуляция ВИМ.

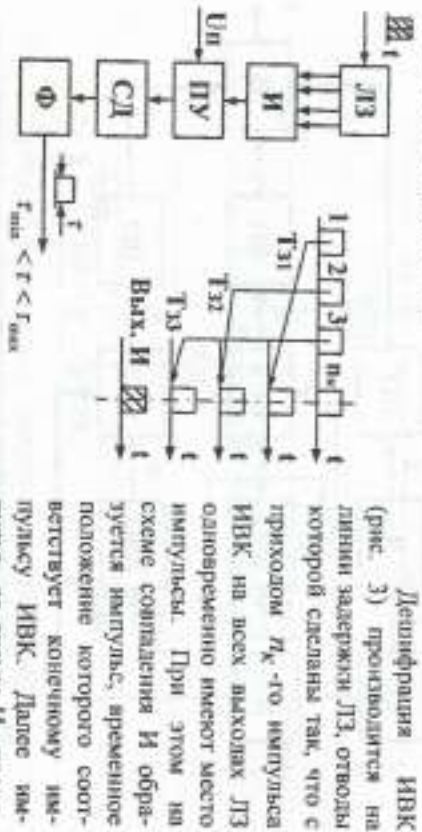


Рис. 3. Дешифрация ИВК

ПУ, селектор длительности СД и формирователь Ф. Наличие импульса на выходе формирователя при прохождении ИВК на выходе ЛЗ и есть результат дешифрации ИВК. Для каждого ИВК нужен свой дешифратор, при этом ЛЗ может быть общей.

Демодуляция ВИМ, т.е. выделение командного сигнала, осуществляется путем перехода от ВИМ к широко-импульсной модуляции (ШИМ). Такой переход выполняется с помощью триггера, запускаемого дешифрованными тактовыми импульсами и останавливаемого дешифрованными рабочими импульсами. Далее сигналы ШИМ фильтруются фильтрами нижних частот. Выделяемая таким образом низкочастотная составляющая определяется как

$$U_{\kappa\phi}^* = K_{\phi} U_m Q = K_{\phi} \frac{U_m}{U_n} U_{\kappa\phi} \quad (1)$$

где K_{ϕ} – коэффициент передачи фильтра; U_m – уровень сигнала ШИМ.

Структурная схема низкочастотной части передатчика радиодлины с дискретными симметричными временными интервалами приведена на рис. 4, а временные диаграммы, поясняющие ее работу, – на рис. 5.

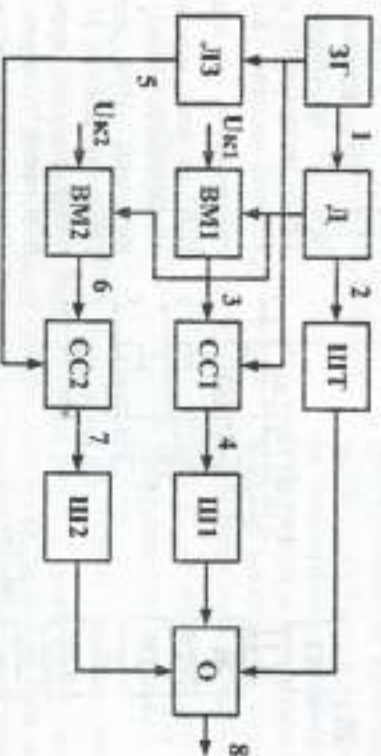


Рис. 4. Структурная схема низкочастотной части передатчика радиодлины ВМ-ИВК-АМ с дискретными симметричными временными интервалами: 3Г – задающий генератор; Д – делитель; ШТ – широтно-импульсный трансформатор; ДЗ – делитель частоты; ВМ – временный модулятор; СС – частотный стабилизатор; Ш1, Ш2 – выходные фильтры; О – объединитель

Характерной особенностью радиодлины является то, что импульсы ИВК каждой команды могут перемещаться на интервале $T_{\text{им}}$. При этом исключается возможность совпадения во времени ИВК разных команд.

Задающий генератор 3Г вырабатывает последовательность импульсов с частотой

$$f_{\text{г}} = f_{\text{ам}} K, \quad (2)$$

где число K определяется требуемой точностью при передаче команд.

С помощью делителя Д (частота 3Г делится на K) формируется последовательность импульсов с частотой $f_{\text{ам}}$. На выходе шифратора такта ШТ формируется тактовый ИВК. С помощью временных модуляторов ВМ производится преобразование командных напряжений $U_{\kappa1}$ и $U_{\kappa2}$ во временные интервалы $t_{\kappa1}$ и $t_{\kappa2}$. Рабочие импульсы на выходе временных модуляторов имеют длительность, равную $T_{\text{с}} = 1/f_{\text{г}}$. Рабочие импульсы с выходов временных модуляторов

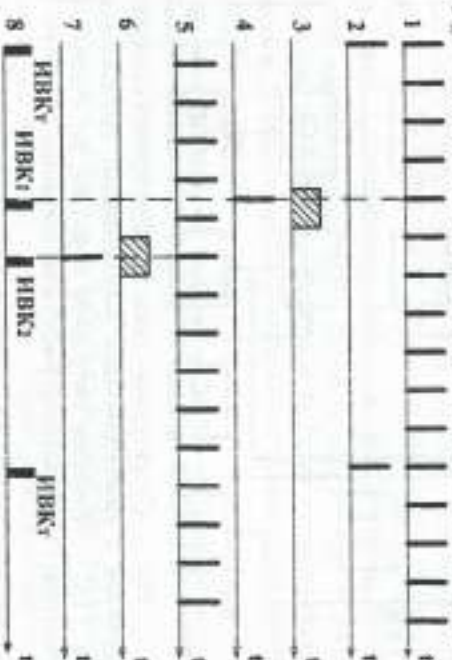


Рис. 5. Временные диаграммы, поясняющие работу радиодлины: 1 – выходные импульсы задающего генератора; 2 – импульсы с выходов делителя; 3, 4 – рабочие импульсы, снимаемые с выходов временных модуляторов; 5, 6 – импульсы с выходов схем шифрования; 7 – импульсы с выходов частотных стабилизаторов; 8 – выходные сигналы низкочастотной части передатчика радиодлины

подаются на входы схем шифрования СС. На другие входы схем шифрования подаются импульсы с выходов 3Г (на вход схемы СС1) или с выходов ДЗ (на вход СС2). Линии задержки ДЗ задерживают импульсы, снимаемые с 3Г, на половину периода $T_{\text{с}}$. С выходов схем шифрования СС снимаются импульсы основной и задержанной последовательности, совпадающие по времени с рабочими импульсами. С помощью шифраторов Ш формируются ИВК команд. После объединения ИВК подаются на модуляторы.

Структурная схема низкочастотной части передатчика радиолинии с симметричными непрерывными временными интервалами приведена на рис. 6, а временные диаграммы, поясняющие ее работу, — на рис. 7.

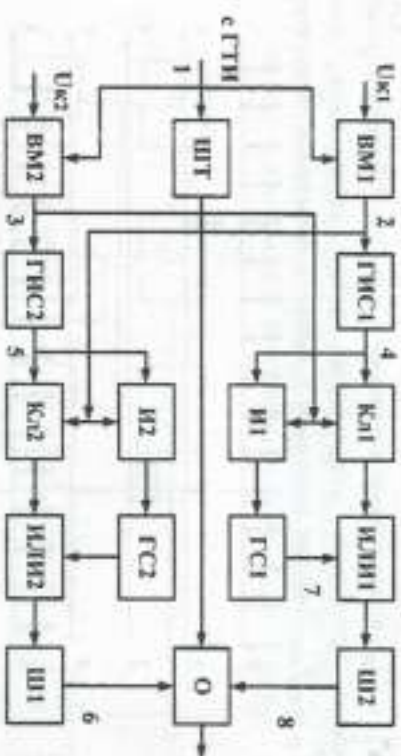


Рис. 6. Структурная схема низкочастотной части передатчика радиолинии с симметричными непрерывными временными интервалами: ГИС — генератор импульсов селекции; КЛ — ключ; И — схема совпадения; ГС — генератор импульсов смещения

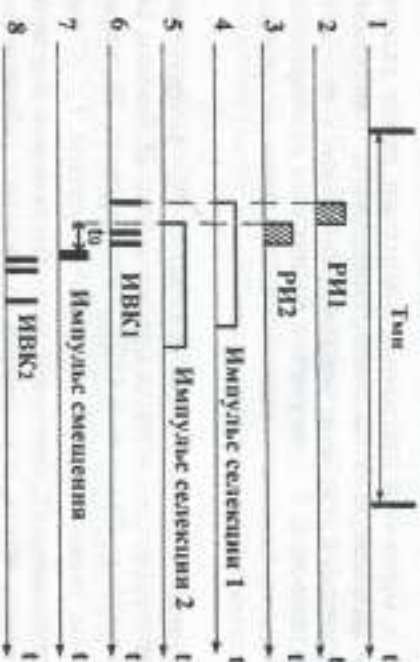


Рис. 7. Временные диаграммы, поясняющие работу радиолинии: 1 — тактовые импульсы; 2, 3 — рабочие импульсы; 4, 5 — импульсы селекции; 6, 8 — импульсы ИВК; 7 — импульс смещения

В том случае, когда $U_{\kappa 1} = U_{\kappa 2}$, рабочие импульсы РИ1 и РИ2 совпадают во времени. Предположим, что РИ1 незаметно опережает во времени РИ2. Через нормально открытый ключ КЛ2 и схему ИЛИН2 он пройдет на шифратор ШИ1, где сформируется ИВК первого канала. Импульс с выхода генератора импульсов селекции ГСН1, который запускается рабочим импульсом РИ1, закроет ключ КЛ1, исключая тем самым прохождение РИ2 на выход ключа КЛ1. Но при этом выходным импульсом генератора ГИС1 открывается схема И1, проходя через которую импульс РИ2 запускает генератор импульсов смещения. Выходной сигнал генератора импульсов смещения задержан на время t_0 относительно рабочего импульса РИ2. Время t_0 определяется длительностью ИВК. Проходя через схему ИЛИН1, импульс смещения поступает на шифратор ШИ2, где формируется ИВК второго канала. В объединителе О происходит объединение рабочих и тактовых ИВК.

3. Воздействие шума на радиолинию, радиоквивалент длины, точность передачи кода

В реальных условиях на работу командной радиолинии ВМ-ИВК-АМ оказывают воздействие как искусственные помехи, так и внутренняя шумная приемных устройств. Шумом, действующим на входе приемной части, приводят к подавлению тактовых и рабочих ИВК. Сущность подавления ИВК такова: под воздействием шума отдельные импульсы ИВК получают случайные временные смещения, что либо приводит к несовпадению импульсов с выходами ЛЗ дешифратора на момент окончания ИВК и схема И не вырабатывает сигнала — код потерян, либо схема И вырабатывает импульс, но его длительность t может оказаться меньше минимально допустимой $t_{\min}$, и схема селекции длительности его не пропустит — код подавлен.

Подавление кода имеет место, когда величина временных флюктуаций импульсов под воздействием шума превышает значение $\pm \Delta t_{\Sigma}$. Отношение $t/2\Delta t_{\Sigma} = \mu_{\Sigma}$ называется жесткостью селекции. Если считать, что все импульсы кодовой группы одинаковы и взаимные смещения между ними не коррелированы, то при нормальном законе распределения временных смещений импульсы кода вероятностно подавлены кодовой группы из N_{Σ} импульсов определяется зависимость

$$P_{\text{mod}} = 1 - \left[\Phi \left(\frac{x}{2\mu_k \tau \phi \sqrt{\frac{P_{\text{с.с.к.}}}{P_{\text{ш.с.к.}}}}} \right) \right]^2, \quad (3)$$

где $P_{\text{с.с.к.}}/P_{\text{ш.с.к.}}$ — отношение мощности принимаемого импульса к мощности шума на выходе приемника (отношение сигнал/шум); $\tau \phi$ — длительность фронта импульса; $\Phi(x)$ — интеграл вероятностей.

Из (3) следует, что вероятность подавления кодовой группы увеличивается с увеличением значности кода μ_k , жесткости селекции μ_k и уменьшается с ростом отношения сигнал/шум.

Вероятность прохождения ИВК при действии шума:

$$P_{\text{прох}} = 1 - P_{\text{mod}}. \quad (4)$$

При подавлении кодовых групп шумом меняется значение принятого командного напряжения по сравнению с переданным. Анализ процесса изменения напряжения на выходе приемного триггера, преобразующего сигнал ВИМ в ШИМ, за достаточно большой временной интервал при неизменном уровне передаваемого командного напряжения $U_{\text{к.с.}}$ показывает, что величина принимаемого командного напряжения при подавлении ИВК [3]:

$$U_{\text{к.с.}}/u = K_{\phi} (U_m/U_n) P_{\text{прох}} U_{\text{с.к.}} + K_{\phi} P_{\text{mod}}. \quad (5)$$

Зависимость (5) и определяет структуру радиоэквивалента линии (рис. 8), состоящего из безынерционной части с коэффициентом

$$K_{\phi} \text{ передачи } K_{\phi} u = K_{\phi} (U_m/U_n) P_{\text{прох}},$$

Рис. 8. Радиоэквивалент для части, определенной фильтром нижних частот сигнала ШИМ.

Напряжения помехового напряжения, обусловленного подавлением ИВК шумом, приводит к систематической ошибке в управлении. Относительная ошибка в передаче команд, обусловленная подавлением ИВК шумом,

$$\beta_{\text{ш}} = \frac{U_{\text{к.с.}} - U_{\text{к.с.}}}{U_{\text{к.с.}}} = \frac{1 - Q_{\text{к}}}{Q_{\text{к}}} (1 - P_{\text{прох}}). \quad (6)$$

где $Q_{\text{к}}$ — текущий коэффициент команды; $Q_{\text{к. макс}}$ — максимальный коэффициент команды.

$$\beta_{\text{ш}} = \frac{R_{\text{с}}}{\sqrt{\pi} Q_{\text{к. макс}}} \exp \left(-\frac{1}{\mu_{\text{ср}}^2} \frac{P_{\text{с.с.к.}}}{P_{\text{ш.с.к.}}} \right). \quad (7)$$

Таким образом, точность передачи команды при действии шума зависит от отношения сигнал/шум, значности кода и жесткости селекции по фронту.

ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА

В системе SystemView создан файл ВИМ1.svu, содержащий схему, имитирующую работу командной радиолинии ВИМ-ИВК-АМ. Модель позволяет посмотреть осциллограммы в контрольных точках, оценить точность передачи команд, оценить влияние шума на работу системы. Структурная схема имитатора приведена на рис. 9.

1. Запустить систему SystemView и вызвать файл ВИМ1.svu.

2. Провести временной анализ устройства, для чего:

- нажать на кнопку временного времени (System Time) на панели инструментов;
- в окне Stop Time установить время анализа 2 с и нажать OK;
- нажать кнопку основного меню.

Зарисовать все приведенные осциллограммы. Номер каждой осциллограммы (например, Slink 3) соответствует номеру блока отображения данных (например, 3). Чтобы определить название устройства, к которому подключен блок отображения данных, достаточно подвести курсор к нужному блоку. Всплывающая подсказка содержит название устройства и его основные характеристики.

Сравнить временное положение импульсов на выходах временного модулятора ВМ (блок 2, осциллограмма Slink 24), схемы стробирования (блок 3, осциллограмма Slink 25) и инвертора (блок 4, осциллограмма Slink 26). Объяснить полученные результаты.

3. Менять время анализа (величины Start Time и Stop Time), определять период следования тактовых импульсов, структуры импульсно-временных кодов и длительность импульсов ИВК.

4. Установить время анализа 1 с. Наблюдать временное положение импульсов (Slink 25) на выходе схемы стробирования первого канала (на схеме метастабильности 3) при изменении уровня команд.

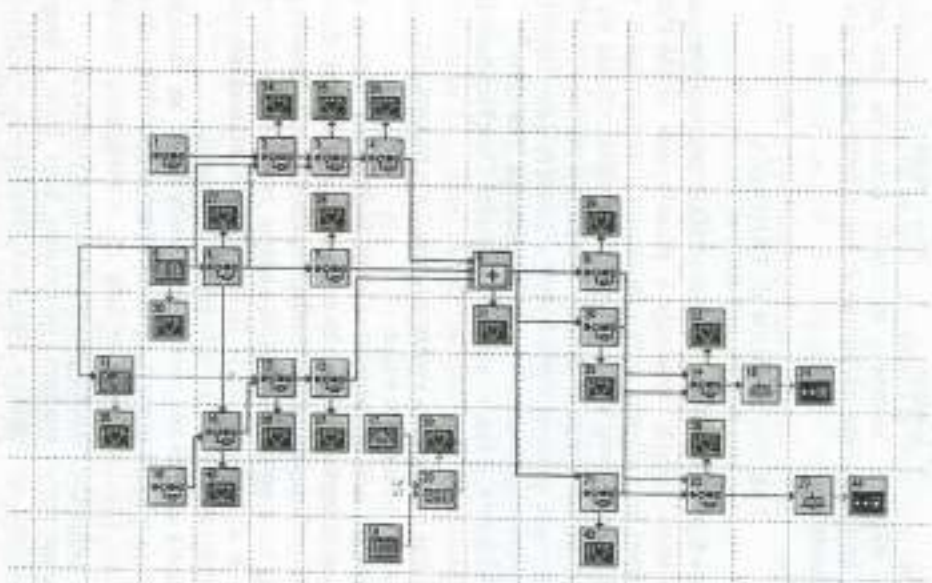


Рис. 9. Структурная схема лабораторной установки:

1, 18 – датчики команд 1-го и 2-го каналов; 2, 16 – временные модуляторы; 3, 12 – схемы стробирования; 4, 13 – шифраторы команд; 5 – задающий генератор; 6 – делитель; 7 – шифратор такта; 8 – сумматор; 9, 10 – дешифраторы команд; 11 – линия задержки; 14, 22 – триггеры; 15, 23 – фильтры нижних частот; 17, 19, 20 – схема формирования шума; 21 – дешифратор такта; 24 – 42 – устройства отображения информации

определить уровненную дискретизацию команд. Для изменения уровня команд:

- установить курсор на блок 1 (датчик команд 1), двойным нажатием левой кнопки мыши открыть метасистему;
- двойным нажатием левой кнопкой мыши на значке источника сигнала вызвать контекстное меню;
- нажатием кнопки Parameters вызвать окно установки параметров;
- в графе Amplitude (V) установить последовательно требуемое значение напряжения: 0,01 В; 0,03 В; 0,05 В; 0,07 В; 0,09 В; 0,11 В и нажать кнопку ОК.

5. Снять зависимость уровня выходных командных напряжений U_k от напряжения командных датчиков U_d (датчик команд первого канала – метасистема 1, второго – 18), для чего:

- U_d менять от -0,9 В до +0,9 В через 0,05 В;
- установить первое значение U_d (использовать методiku, изложенную в п. 4);
- нажать кнопку ▶;

- записать в таблицу значение и U_k (значение U_k отображает устройство Sink 34, значение U_k отображает устройство Sink 41);

- изменить значение U_d и повторить изложенные выше операции.

Построить график зависимости $U_k = f(U_d)$ для обоих каналов.

Объяснить характерное поведение графика.

6. Оценить влияние аддитивного шума на точность передачи команд, для чего:

- дважды щелкнуть левой кнопкой мыши на блоке 17 (источник гауссовского шума);
- нажатием кнопки Parameters вызвать окно установки параметров;
- установить значение U_n (Std Deviation), равное 0,7, и нажать ОК;
- нажать на кнопку системного времени (System Time) на панели инструментов;

- в графе No. of System Loops установить количество запусков системы, равное 20, и нажать ОК;

- дважды щелкнуть левой кнопкой мыши на блоке 34;

- нажать кнопку Statistics и нажать ОК;

- по методике, изложенной в п. 5, снять зависимость уровня выходного командного напряжения $\langle U_k \rangle$ от напряжения командного датчика U_d (для первого канала) (выходное напряжение менять от -0,9 до 0,9 В через 0,3 В, среднее значение командного напряжения $\langle U_k \rangle$ взять из графа Mean);

- снять зависимость $\langle U_k \rangle = f(U_d)$ для значений U_n равных 0,8 и 0,9.

Построить полученные зависимости и объяснить результаты.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Способы командного радиопередачи.
2. Структура замкнутого контура при командном радиопередаче.
3. Общие принципы действия командных радиолиний ВИМ-ИВК-АМ.
4. Принципы действия радиолиний ВИМ-ИВК-АМ с дискретными симметричными временными интервалами.
5. Принципы действия радиолиний ВИМ-ИВК-АМ с несимметричными временными интервалами.
6. Принципы действия радиолиний ВИМ-ИВК-АМ с симметричными непрерывными временными интервалами.
7. Механизм подавления ИВК шумом. Вывести зависимость (4).
8. Из каких соображений оценивается число импульсов в ИВК?
9. Из каких соображений осуществляется размещение импульсов ИВК?
10. Как находится радиокондуктент линии?
11. От чего зависит вероятность образования ложных ИВК при действии шума?
12. В чем смысл структурной защиты радиолиний ВИМ-ИВК-АМ?
13. От чего зависит эффективность структурной защиты радиолиний ВИМ-ИВК-АМ?
14. Как оценить влияние шума на точность передачи команд?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волковский С.А., Овощников Е.И., Савинков В.А. Радиопередача систем управления летательными аппаратами. М.: Машиностроение, 1972. 406 с.
2. Основы радиопередачи / под ред. В.А. Векслеля. М.: Радио и связь, 1995. 327 с.
3. Тихонов В.И., Вейсман В.А. Радиопередача. М.: Сов. радио, 1962. 750 с.