

4905

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
РИЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ В РАДИОЗОНЕ

Методические указания к лабораторной работе № 5

Рязань 2015

УДК 621.396

Система управления в радиозоне: методические указания к лабораторной работе №5/ Рязань гос. радиотехн. ун-т; сост.: В.С.Паршин, М.В.Кулакова. Рязань, 2015. 12 с.

Изложены особенности системы управления в радиозоне.

Предназначены для студентов 5-го курса специальности 11.05.01 и бакалавров направления 11.03.01 ФРП.

Табл. 4. Ил. 8. Библиогр.: 3 назв.

Радиоуправление, раеносигнальная зона, радиозона, контур управления, частота манипуляции, диаграмма направленности

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

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

Система управления в радиозоне

Составители: Паршин Валерий Степанович
Кулакова Марина Васильевна

Редактор Н.А. Орлова

Корректор С.В. Макушина

Подписано в печать 10.04.15. Формат бумаги 60x84 1/16.

Бумага писчая. Печать трафаретная. Усл. печ. л. 0,75.

Тираж 50 экз. Заказ 3035.

Рязанский государственный радиотехнический университет.
390005, Рязань, ул. Гагарина, 59/1.
Редакционно-издательский центр РГРТУ.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Изучение системы управления в радиозоне.
2. Исследование воздействия шумов на точность управления.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

1. Принцип действия

Пусть в пункте управления (ПУ) расположена передаточная антенна, диаграмма направленности которой с максимумом, развернутым на угол φ от оси Z , периодически с частотой манипуляции $F_{мн}$ переключается из положения «1» в положение «2», находясь в обоих положениях одинаковое время, равное $T_{мн}/2$ (рис. 1). Амплитудное равносигнальное направление, формируемое в плоскости OZ , называется радиозоной. В пределах радиозоны амплитуда несущего колебания, излучаемого передатчиком ПУ, не меняется при переключении диаграммы направленности антенны из положения «1» в положение «2». Чтобы определить направление отклонения ЛД от радиозоны, сигналы, излучаемые антенной в положении «1» и «2» ее диаграммы направленности, имеют характерные отличия, «окраску», «Окраска» сигналов обеспечивается амплитудной модуляцией несущего колебания поднесущими частотами $F_{п1}$ и $F_{п2}$.

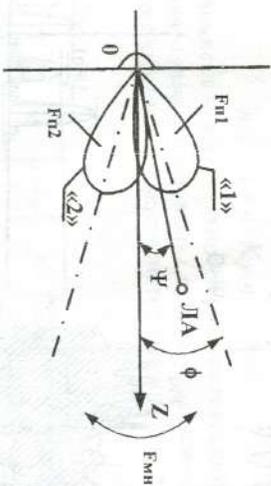


Рис. 1. Формирование радиозоны

Временная структура сигнала, принимаемого летательным аппаратом (ЛА) при различных его положениях относительно равносигнальной зоны, и соответствующий спектральный состав приведены на рис. 2.

В общем случае в состав спектра принимаемого сигнала входят три группы частот:

- $f_{n \pm (2n-1)F_{MN}}$;
- $f_{n \pm [F_{n1} \pm (2n-1)F_{MN}]}$;
- $f_{n \pm [F_{n2} \pm (2n-1)F_{MN}]}$.

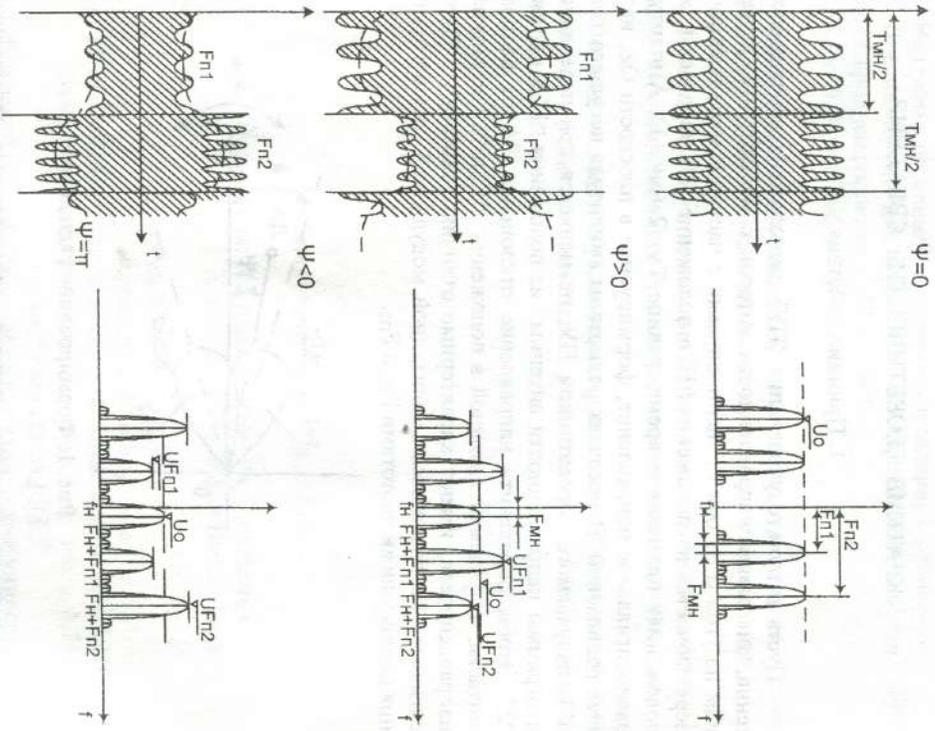


Рис. 2. Временная и спектральная структура сигналов, принимаемых ДА при различных ψ

При нахождении ДА в радиозоне принимаемый сигнал модулирован только поднесущими частотами. В спектре отсутствуют боковые составляющие первой группы частот, а мощности гармоник по второй

и третьей группам частот одинаковы. При отклонении ДА от радиозоны принимаемый сигнал оказывается дополнительно промодулированным по амплитуде прямоуглыми колебаниями частоты манипуляции диаграммы направленности антенны. При этом в спектре сигнала появляются боковые частоты в окрестностях частот несущего колебания и изменяется относительный уровень спектральных составляющих, обуславливаемых частотами поднесущих.

Итак, информация о местоположении ДА в принимаемом на его борту сигнале заключена:

- 1) в глубине амплитудной модуляции несущего колебания сигналом частоты манипуляции F_{MN} и в фазе этого сигнала; при этом значение коэффициента амплитудной модуляции m_A характеризует величину углового отклонения ДА от радиозоны, а знак "±" коэффициента m_p указывает направление отклонения;
- 2) в соотношении мощностей по второй и третьей спектральным группам сигнала; при этом значение коэффициента мощности m_p характеризует величину углового отклонения ДА от радиозоны, а знак "±" коэффициента m_p указывает направление отклонения.

Информационные параметры сигнала m_p и m_A связаны с угловым отклонением ψ ДА от радиозоны следующими зависимостями:

$$m_A = K_{p3}\psi, \quad (1)$$

$$m_p = 1 + 4 \cdot K_{p3}\psi, \quad (2)$$

где K_{p3} - коэффициент чувствительности равносигнальной зоны.

Структурная схема аппаратуры пункта управления, предназначенная для формирования в пространстве радиозоны, приведена на рис. 3.

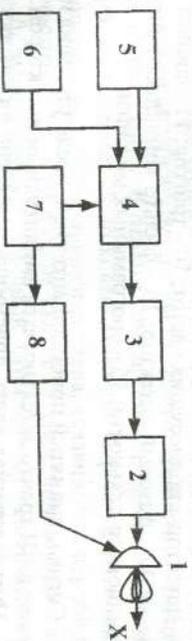


Рис. 3. Структурная схема аппаратуры пункта управления:

- 1 - антенна; 2 - генератор ВЧ несущего колебания; 3 - амплитудный модулятор; 4 - переключатель поднесущих частот; 5, 6 - генераторы поднесущих частот; 7 - генератор манипуляционной частоты; 8 - переключатель положений диаграммы направленности

Равносигпальная зона создается за счет переключения диаграммы направленности передаточной антенны. Частота переключений (манипуляции) $F_{mn} = 1/T_{mn}$ задается генератором манипуляционной частоты 7. Диаграмма направленности находится в положениях 1 и 2 одинаковое время, равное $T_{mn}/2$. Модуляция несущего колебания осуществляется с помощью генераторов поднесущих частот 5 и 6, которые подключаются к модулятору 3 передатчика через переключатель 4.

Бортовая аппаратура ДА может выполняться в двух вариантах в зависимости от используемого для формирования команды информационного параметра - та или тр.

Рассмотрим вначале вариант бортовой аппаратуры ДА на основе информационного параметра та - коэффициента амплитудной модуляции несущего колебания частотой манипуляции диаграммы передаточной антенны (рис. 4).

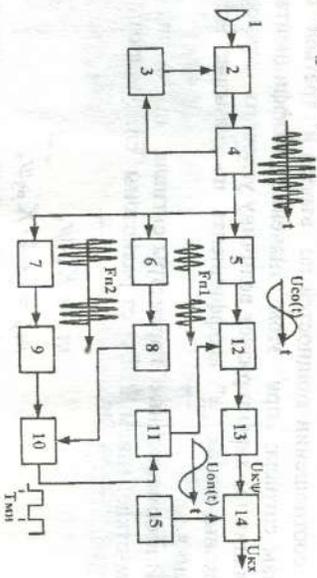


Рис. 4. Структурная схема аппаратуры ДА при формировании командного сигнала на основе информационного параметра та: 1 - антенна; 2 - тракт ВЧ; 3 - система АРУ; 4 - детектор несущего колебания; 5 - фильтр сигнала ошибки; 6, 7 - фильтры поднесущих частот; 8, 9 - детекторы поднесущих частот; 10 - триггер; 11 - фильтр опорного сигнала; 12 - фазовый детектор; 13 - фильтр командного сигнала; 14 - потенциометр дальности; 15 - программный механизм

Сигнал, принятый приемной антенной, после усиления и преобразования в ВЧ тракте детектируется амплитудным детектором.

Низкочастотная часть приемника разделена на два канала: канал сигнала ошибки и канал опорного сигнала. Сигнал с выхода амплитудного детектора 4 параллельно подается на фильтр сигнала ошибки 5, настроенный на частоту манипуляции F_{mn} , и на фильтры поднесущих частот 6 и 7. С выхода фильтра сигнала ошибки 5 снимается гармоническое колебание, амплитуда которого пропорциональна коэф-

фициенту модуляции та, т.е. угловому отклонению ψ ДА от радиозоны, а фаза зависит от направления отклонения.

Полосовые фильтры поднесущих частот 6 и 7, детекторы поднесущих частот 8 и 9, триггер 10 и фильтр опорного сигнала 11 образуют опорный канал.

Опорный сигнал и сигнал ошибки поступают на фазовый детектор 12, который осуществляет их перемножение. После фильтра командного сигнала 13 выделяется командное напряжение $U_{кв}$, величина и знак которого определяется величиной и направлением отклонения ДА от радиозоны.

Потенциометр дальности, формирующий командный сигнал $U_{сд}$, пропорциональный линейному отклонению ДА от радиозоны, управляется программным механизмом.

Командный сигнал $U_{кв}$, формируемый на борту ДА, связан с угловым отклонением ДА от радиозоны зависимостью:

$$U_{кв} = K_{р2} K_{д} K_{с0} U_{т0} \sqrt{\frac{R_{кв} P_{днер} S_{апр}}{2\pi r_{\max}^2}} \psi, \quad (3)$$

где $K_{д}$ - коэффициент передачи фазового детектора, $K_{с0}$ - коэффициент усиления канала сигнала ошибки, $U_{т0}$ - уровень опорного напряжения, $R_{кв}$ - входное сопротивление приемной антенны, $P_{днер}$ - мощность передатчика ПУ, $D_{нер}$ - коэффициент направленного действия передаточной антенны ПУ, $S_{апр}$ - эффективная площадь приемной антенны ДА, r_{\max} - максимальное удаление ДА от ПУ, на которое рассчитано управление.

Теперь рассмотрим вариант построения бортовой аппаратуры ДА на основе информационного параметра тр - отношение мощностей по второй и третьей спектральным группам сигнала (рис. 5). В этом варианте после амплитудного детектора несущего колебания 4 сигнал разделяется на два канала. В первом канале (фильтр поднесущего колебания $F_{п1}$, выпрямитель 7, пиковый детектор 9) формируется напряжение, пропорциональное мощности сигнала, связанного с первой поднесущей частотой $F_{п1}$, а во втором канале (фильтр поднесущего колебания $F_{п2}$, выпрямитель 8, пиковый детектор 10) - напряжение, пропорциональное мощности сигнала, связанного со второй поднесущей частотой $F_{п2}$. Формируемые в указанных каналах напряжения равны, когда ДА находится в равносигпальной зоне. Если снаряд находится вне равносигпальной зоны, напряжения в первом и втором каналах различны. Из разности этих напряжений формируется командный сигнал, пропорциональный отклонению снаряда от радиозоны.

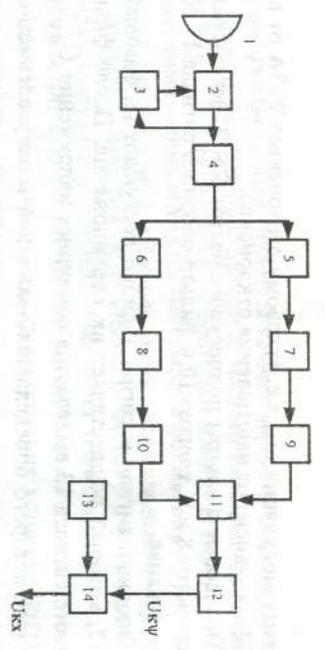


Рис. 5. Структурная схема аппаратуры ДА при формировании командного сигнала на основе информационного параметра m_A : 1 - антенна; 2 - тракт ВЧ; 3 - система АРУ; 4 - детектор несущего колебания; 5, 6 - фильтры полнесущих частот; 7, 8 - выпрямители; 9, 10 - пиковые детекторы; 11 - разностный каскад; 12 - фильтр нижних частот; 13 - потенциометр дальности; 14 - программный механизм

2. Контур управления

На основании принципа работы системы и ее функционального построения можно построить структурную схему замкнутого контура (рис. 6). Направление полета ДА определено равносигнальной зоной, и управление подчинено условию $\psi_s = 0$. Фактическое направление движения ДА характеризуется углом отхода ψ , являющимся ошибкой управления. Угловая ошибка управления подается на радиозвено РЗ, связывающее угловое отклонение ДА от радиозоны ψ с командным напряжением U_K . Эта связь осуществляется так.

Первый элемент радиозвена преобразует угловое отклонение ψ ДА от радиозоны в коэффициент амплитудной модуляции m_A несущей частоты частотой манипуляции $F_{мн}$. Коэффициент передачи первого элемента равен угловой чувствительности равносигнальной зоны

$$K_1 = K_{P3} = m_A / \psi \quad (4)$$

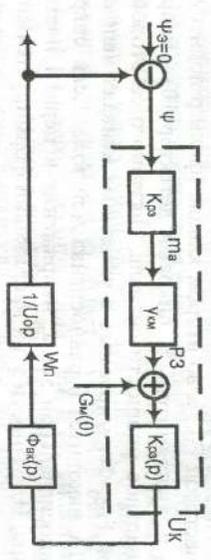


Рис. 6. Контур управления

Вторым элементом радиозвена является преобразователь коэффициента амплитудной модуляции m_A в командное напряжение. Коэффициент передачи преобразователя

$$\gamma_{км} = U_K / M_A = K_D K_{ср} U_{м0} \sqrt{R_{ср} P_{пер} D_{пер} S_{опр} / 2\pi \sigma_{max}^2} \psi \quad (5)$$

Третий элемент радиозвена - фильтр командного сигнала с передаточной функцией $K_{P3}(p)$, при этом $K_{P3}(0) = 1$.

Выработанное командное напряжение подается на звено автопилот - корпус, передаточная функция которого $\Phi_{ак}(p)$, а выходной величиной является поперечное ускорение W_n . Новое угловое положение ДА связывается с поперечным ускорением динамическим звеном. Передаточная функция динамического звена (ДЗ)

$$\Phi_{ДЗ}(p) = 1 / U_0 P \quad (6)$$

Выходная координата контура - угол ψ .

Передаточная функция контура управления

$$\Phi_{\psi}(p) = K_{P3} \gamma_{км} K_{P3}(p) / U_0 P / 1 + K_{P3} \gamma_{км} K_{P3}(p) / U_0 P \quad (7)$$

Эффективная полоса пропускания контура управления

$$\Delta F_g = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |\Phi(j\omega)_{\psi}|^2 d\omega \quad (8)$$

3. Ошибки управления

Для системы управления в радиозвене рассматриваются две группы ошибок - аппаратные и шумовые. Для системы управления, построенной на основе информационного параметра m_A , обе группы ошибок связаны с анализом работы фазового детектора.

Если уровень шумов невелик, то влияние шума будет сказываться в основном на канале сигнала ошибки, приводя к появлению в контуре управления (рис. 6) помехи на выходе безынерционной части контура со спектральной плотностью

$$G_{ш}^2(0) = 4G_{шак}^2 (K_{ср} K_D)^2 \quad (9)$$

где $G_{шак}$ - спектральная плотность шумов на входе приемника.

Средняя квадратическая ошибка управления, обусловленная шумами,

$$\sigma_{\psi/ш} = \sqrt{G_{ш} \Delta F_g / K_{P3} \gamma_{км}} \quad (10)$$

Заметив, что $K_{P3} = m_A / \psi = 1 / \psi_{max}$, и используя зависимость (5) и (9), преобразуем (10) к виду

$$B_{\psi/\mu} = 2\pi \frac{\psi_{\max}}{\mu_{\max}} / U_{\text{по}} \sqrt{2\pi G_{\text{шхк}} \Delta F^2 / P_{\text{нпр}} D_{\text{нпр}} S_{\text{опр}} R_{\text{кв}}} \quad (11)$$

ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА

В системе MISCRO – CAP 5 создан файл RADZONS.CIR, содержащий схему, имитирующую работу системы радиуправления в радиозоне. Структурная схема имитатора приведена на рис. 7. На схеме приняты следующие обозначения: COMMAND – датчик напряжения U_{ψ} ; пропорционального угловому отклонению ДА от радиозоны, NF – генераторы поднесущих частот, ПО – потенциометр отклонения (устройство, имитирующее угловое отклонение ДА от радиозоны), К – коммутатор, и – генератор белого шума, ПД – потенциометр дальности (устройство, имитирующее удаление ДА от ПУ), ⊕ – сумматоры, ФП1, ФП2 – фильтры поднесущих частот, Д – детекторы поднесущих частот, Т – триггер, ФСО – фильтр сигнала ошибки, УСО – усилитель сигнала ошибки, ФД – фазовый детектор, ФКС – фильтр командного сигнала.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Запустить систему MISCRO – CAP 5 и вызвать файл RADZONS.CIR.
2. Провести временной анализ устройства:
 - войти в меню ANALYSIS и выбрать функцию TRANSIENT ANALYSIS;
 - в колонке P набрать номера графиков;
 - в колонке Xexpression набрать имена контрольных точек схемы, сигналы которых требуются посмотреть [например, V(1)]; в таблице датчики исследуются точки 2, 5, 6, 8, 9, 10; в приемнике – 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21;
 - в колонке Xexpression установить t (т.е. исследование временных зависимостей);
 - в колонке XRange установить требуемое время анализа (например, 0.0005, 0);
 - в колонке URange установить предполагаемый размах значений напряжения в исследуемой точке (если размах неизвестен, то поставить значения –10,10, а также метку против строки Auto Scale Ranges);
 - нажать кнопку RUN в меню анализа;
3. Для изменения условий анализа войти в меню TRANSIENT, включить режим Limits и изменить значения временных параметров или имена контрольных точек.

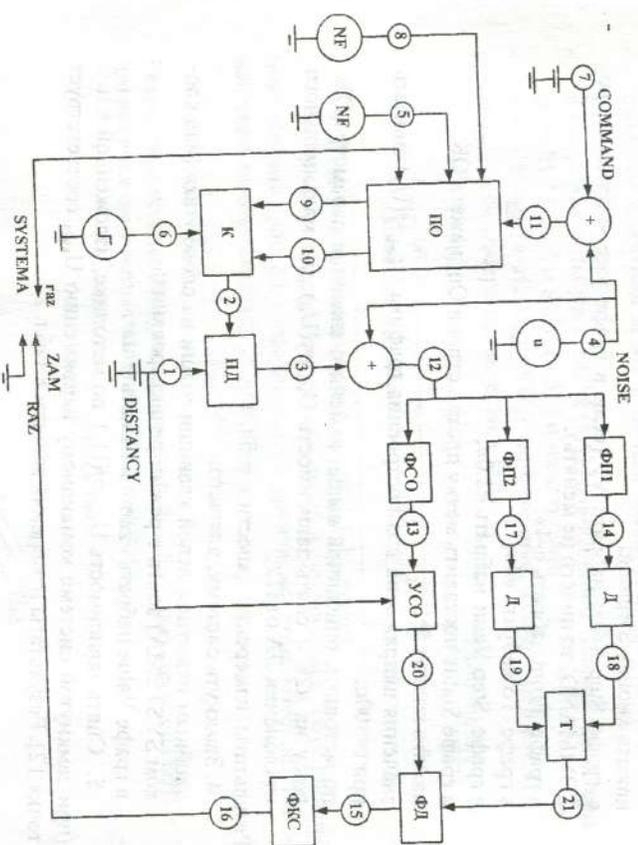


Рис. 7. Структурная схема имитатора системы управления в радиозоне

Чтобы вернуться к схеме, необходимо закрыть окно TRANSIENT ANALYSIS с помощью кнопки X.

3. Снять зависимость командного напряжения $U_{\text{кв}}/\mu$ [точка (16)] от углового отклонения ψ [напряжение в точке V(7)] ДА разомкнутой системы управления при минимальном Γ_{min} и максимальном Γ_{max} удаления ДА от пункта управления, для чего:

- двойным нажатием левой клавиши мыши на слове Distance войти в режим редактирования;
- в графе Value набрать «1» (что соответствует минимальному удалению ДА от ПУ) и нажать Enter;
- войти в меню ANALYSIS и выбрать функцию TRANSIENT ANALYSIS;
- в двух строках колонки P установить «1»;
- в соответствующих графах Xexpression - V(7) и V(16);
- в колонке XRange установить время анализа 0.0005, 0;
- поставить метку против строки Auto Scale Ranges;

- нажать кнопку Steering;
- в графе Ster What набрать V7 (если в графе уже набрано слово COMMAND, то ничего не менять);
- в графе From набрать «-4»;
- в графе To набрать «4»;
- в графе Ster Value набрать «2.0»;
- в графе Status поставить метку против строки On; нажать ОК;
- нажать кнопку \blacktriangleright ;
- значения напряжения для построения графика $U_{кв/р} = f(U_{\psi})$ снимать при $t=500\text{ц}$;
- по методике, описанной выше, изменить значение параметра Display на «2» и снять зависимость $U_{кв/р} = f(U_{\psi})$ для максимального отклонения ДА от ПУ.

Результаты измерения занести в табл. 1

4. Замкнуть систему, для чего:

- двойным нажатием левой клавиши мыши на слове «газ» (над словом SYSTEMA) войти в режим редактирования;
- в графе Value набрать «zalm» и нажать Enter.

- 5. Снять зависимость $U_{кв/р} = f(U_{\psi})$ по методике, изложенной в п. 3 (при замкнутой системе командному напряжению $U_{кв/р}$ соответствует точка 12). Результаты измерений занести в табл. 2.

Таблица 1

U_{ψ} , В	Γ_{\min}	Γ_{\max}
	$U_{кв/р}$, В	

Таблица 2

U_{ψ} , В	Γ_{\min}	Γ_{\max}
	$U_{кв/р}$, В	

- 6. Построить графики зависимости $U_{кв/р} = f(U_{\psi})$, $U_{кв/р} = f(U_{\psi})$.
- 7. Разомкнуть систему, для чего:
 - двойным нажатием левой клавиши мыши на слове «zalm» (над словом SYSTEMA) войти в режим редактирования;
 - в графе Value набрать «газ» и нажать Enter.
- 8. Снять зависимость командного напряжения $U_{кв/р}$ [точка (16)] от углового отклонения U_{ψ} [напряжения в точке V(7)] ДА разомкнутой системы управления при минимальном Γ_{\min} удалении ДА от пункта управления в условиях действия аддитивных шумов для трех значений уровня шума, для чего:
 - установить стрелку на сумматор (между точками 3 и 12), имитирующий влияние аддитивных шумов;

- двойным нажатием левой клавиши мыши войти в режим редактирования;
- в графе Value набрать SUM (1,4) [для второй и третьей характеристик SUM (1,5) и SUM (1,6)] и нажать Enter;
- снять зависимость $U_{кв/р} = f(U_{\psi})$ по методике, изложенной в п. 3;
- результаты измерения занести в табл. 3.

Таблица 3

U_{ψ}	4	5	6
$U_{кв/р}$, В			

9. Построить зависимость $U_{кв/р} = f(U_{\psi}) / U_{\psi} = const$.

- 10. Оценить систематическую ошибку управления, обусловленную шумами (рис. 8). Относительный уровень систематической шумовой ошибки определяется отношением

$$R_{уст} = \Delta U_{уст} / U_{уп\max}$$

Результаты по оценке $R_{уст}$ свести в табл. 4. Объяснить причины возникновения систематической шумовой ошибки.

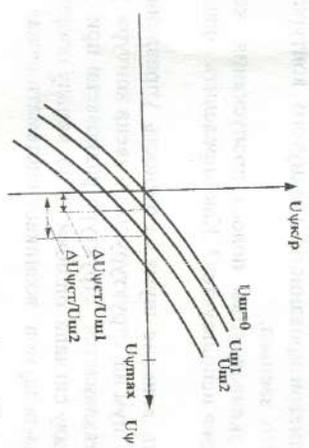


Рис. 8. Оценка систематической шумовой ошибки управления

Таблица 4

$U_{шт}$	4	5	6
$R_{уст}$			

- 11. Снять зависимость командного напряжения $U_{кв/р}$ [точка (16)] от углового отклонения U_{ψ} [напряжение в точке V(7)] ДА разомкнутой системы управления при минимальном Γ_{\min} удалении ДА от пункта управления в условиях действия мультипликативных шумов для трех значений уровня шума, для чего:

- установить нулевой уровень аддитивных шумов (в графе Value набрать SUM (1,0));
- установить стрелку на сумматор (над ПО), имитирующий влияние мультипликативных шумов;
- двойным нажатием левой клавиши мыши войти в режим редактирования;
- в графе Value набрать SUM (1,4) [для второй и третьей характеристик SUM (1,5) и SUM (1,6)] и нажать Enter;
- снять зависимость $U_{кв/р} = f(U_{ш})$ по методике, изложенной в п. 3;
- построить зависимости $U_{кв/р} = f(U_{ш}) / U_{ш} = const$.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Принципы действия системы управления в радиоизоне.
2. Структурная схема аппаратуры пункта управления.
3. Структурная схема аппаратуры ДА при информационном параметре па.
4. Структурная схема аппаратуры ДА при информационном параметре пр.
5. Структура линеаризованного замкнутого контура и передаточные функции его звеньев.
6. Что такое эквивалентная полоса пропускания контура управления? Для чего она используется? Как определить эквивалентную полосу?
7. Как оценить влияние шума на точность управления?
8. Как влияет шум на структуру радиозвена контура управления?
9. Как устанавливается структура радиозвена при учете влияния шумов по каналу сигнала ошибки и по каналу опорного сигнала?
10. Почему из-за шумов возникает систематическая ошибка управления?
11. Как оценить величину систематической ошибки управления, обусловленной шумами?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вейцель В.А., Типулин В.Н. Радиоуправление. М.: Сов. радио, 1973.
2. Моргунов А. Н. Системы радиотелеуправления. Рязань: РРТИ, 1978.
3. Шуккин А.Н. Динамические и флюктуационные ошибки управляемых объектов. М.: Сов. радио, 1961.