

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ
В РАДИОЗОНЕ

Методические указания к лабораторной работе № 5

$$\begin{aligned}
 & - f_{\text{н}1} \pm (2n-1)F_{\text{мн}}; \\
 & - f_{\text{н}2} \pm [F_{\text{н}1} \pm (2n-1)F_{\text{мн}}]; \\
 & - f_{\text{н}2} \pm [F_{\text{н}2} \pm (2n-1)F_{\text{мн}}].
 \end{aligned}$$

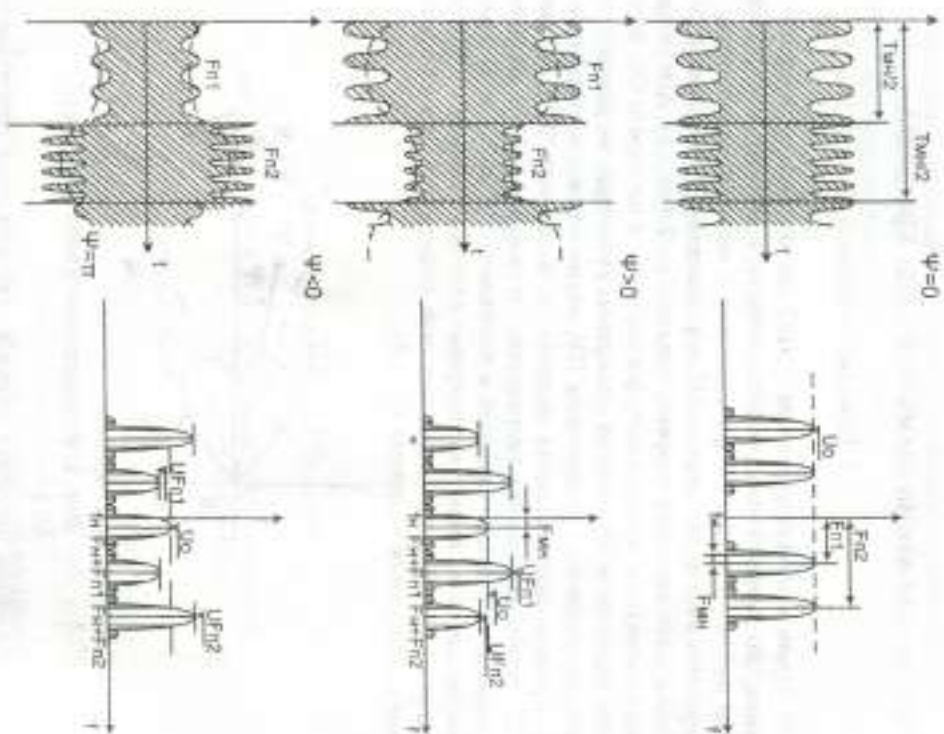


Рис. 2. Временная и спектральная структуры сигналов, принимаемых ДА при различных ψ

При нахождении ДА в диапазоне 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 диапазона принимаемый сигнал оказывается дополненным промодулированным по амплитуде прямоугольными 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 заключается:

1) в глубине амплитудной модуляции несущего колебания сигналом частоты манипуляции $F_{\text{мн}}$ и в фазе этого сигнала, при этом значение коэффициента амплитудной модуляции m_A характеризует величину углового отклонения ДА от радиозона, а знак «±» коэффициента m_A указывает направление отклонения;

2) в соотношении мощностей по второй и третьей спектральным группам сигнала, при этом значение коэффициента мощностной модуляции m_P характеризует величину углового отклонения ДА от радиозона, а знак «±» коэффициента m_P указывает направление отклонения.

Информационные параметры сигнала m_A и m_P связаны с угловым отклонением ψ ДА от радиозона следующим зависимостями:

$$\begin{aligned}
 m_A &= K_{\psi} \psi, \\
 m_P &= 1 + 4 \cdot K_{\psi} \psi,
 \end{aligned}
 \quad (1) \quad (2)$$

где K_{ψ} - коэффициент чувствительности радиосигнальной зоны.

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

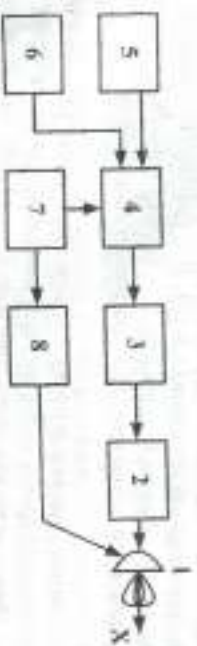


Рис. 3. Структурная схема аппаратуры пункта управления:
1 - антенна; 2 - генератор ВЧ несущего колебания; 3 - амплитудный модулятор; 4 - переключатель поднесущих частот; 5, 6 - генераторы поднесущих частот; 7 - генератор манипуляционной частоты; 8 - переключатель поднесущих частот; 9 - антенна

Равнонаправленная зона создается за счет переключения диаграмм направленности передаточной антенны. Частота переключения (манипуляции) $F_{\text{мн}} = 1/T_{\text{мн}}$ задается генератором манипуляционной частоты 7. Диаграмма направленности находится в положениях 1 и 2 одновременно, равное $T_{\text{мн}}/2$. 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 - θ_A или θ_B .

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

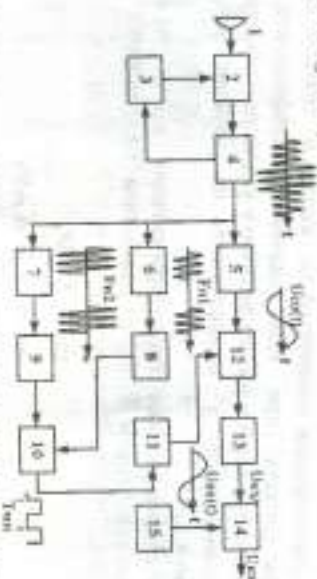


Рис. 4. Структурная схема аппаратуры ДА при формировании командного сигнала на основе информационного параметра θ_A : 1 - антенна; 2 - тракт ВЧ; 3 - система АРУ; 4 - детектор несущего колебания; 5 - фильтр сигнала ошибки; 6, 7 - фильтры поднесущих частот; 8, 9 - детекторы поднесущих частот; 10 - триггер; 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 $F_{\text{мн}}$, и на фильтры поднесущих частот 6 и 7. С выхода фильтра сигнала ошибки 5 снимается коэффициентное колебание, амплитуда которого пропорциональна коэф-

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

Поднесущие 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 выводится командное напряжение $U_{\text{кв}}$, величина и знак которого определяется величиной и направлением отклонения ДА от радиозоны.

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

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

$$U_{\text{кв}} = K_{\text{г}} K_{\text{д}} K_{\text{ф}} K_{\text{м}} U_{\text{м}} \sqrt{\frac{R_{\text{св}} P_{\text{св}} D_{\text{св}} S_{\text{св}}}{2\pi r_{\text{св}}^2}} \psi, \quad (3)$$

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

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

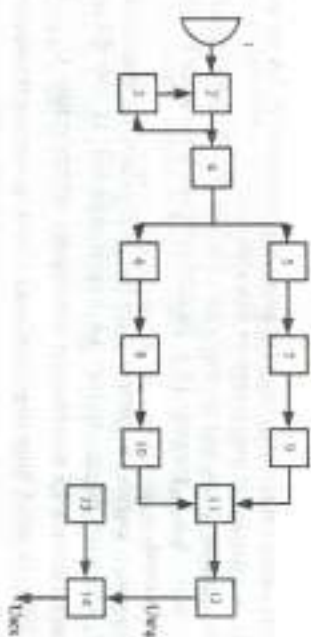


Рис. 5. Структурная схема аппаратуры ДА при формировании командного сигнала на основе информационного параметра m_A : 1 - антенна; 2 - тракт ВЧ; 3 - система АРУ; 4 - детектор несущего колебания; 5, 6 - фильтры полесущих частот; 7, 8 - выпрямители; 9, 10 - пиковые детекторы; 11 - разностный каскад; 12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

2. Контроль управления

На основании принципа работы системы и ее функционального построения можно построить структурную схему замкнутого контура (рис. 6). Направленные колебания ДА определены радиосигналом зоны, и управление подчинено условию $\psi = 0$. Фактическое направление движения ДА характеризуется углом отхода ψ , являющимся ошибкой управления. Угловая ошибка управления подается на разностное РЗ, связывающее угловое отклонение ДА от радиозоны ψ с командным напряжением U_{ψ} . Эта связь осуществляется так.

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

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

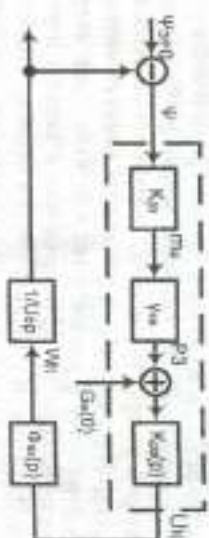


Рис. 6. Контур управления

Второй элемент радиозоны является преобразователь коэффициента амплитудной модуляции m_A в командное напряжение. Коэффициент передачи преобразователя

$$\gamma_{cm} = U_{\psi} / M_A = K_{\psi} K_{cm} U_{\psi} \sqrt{R_{cm} P_{cm} D_{cm} S_{cm} / 2\pi \tau_{cm}^2 \psi}. \quad (5)$$

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

Выработанные командное напряжение подается на звено автопилот - корпус, передаточная функция которого W_{ψ} . Новое угловое положение ДА связывается с поперечным ускорением динамическим звеном. Передаточная функция динамического звена (ДЗ)

$$\Phi_{\psi}(p) = 1 / U_{\psi} P. \quad (6)$$

Выходная координата контура - угол ψ .

Передаточная функция контура управления

$$\Phi_{\psi}(p) = K_{\psi} \gamma_{cm} K_{\psi}(p) / U_{\psi} P / 1 + K_{\psi} \gamma_{cm} K_{\psi}(p) / U_{\psi} P. \quad (7)$$

Эффективная полоса пропускания контура управления

$$\Delta F_{\psi} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |\Phi_{\psi}(j\omega)|^2 d\omega. \quad (8)$$

3. Ошибки управления

Для системы управления в радиозоне 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 шума невелик, то влияние шума будет связываться в основном на канале сигнала ошибки, приводя к появлению в контуре управления (рис. 6) помехи на выходе безинерционной части контура со спектральной плотностью

$$G_{\psi}(0) = 4 G_{cm} (K_{cm} K_{\psi})^2. \quad (9)$$

где G_{cm} - спектральная плотность шума на входе приемника.

Средняя квадратическая ошибка управления, обусловленная шумом,

$$\sigma_{\psi/m} = \sqrt{G_{\psi} \Delta F_{\psi} / K_{\psi}^2 K_{cm}^2}. \quad (10)$$

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

$$\bar{b}_{\psi, \text{н}} = 2\epsilon_{\text{max}} \frac{\psi}{\pi \Delta U_{\text{н}}} \sqrt{\frac{2\pi G_{\text{max}} \Delta F_{\text{н}}}{P_{\text{н}} D_{\text{н}} S_{\text{н}} R_{\text{н}}}} \quad (11)$$

ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА

В системе MICRO – CAP 5 создан файл RADZON5.CIR, содержащий схему, имитирующую работу системы радиуправления в радиозоне. Структурная схема имитатора приведена на рис. 7. На схеме приняты следующие обозначения: COMMAND – датчик напряжения $U_{\text{с}}$, пропорционального угловому отклонению ЛА от радиозоны, NF – генераторы несущих частот, ПЧ – потенциометр отклонения (устройство, имитирующее угловое отклонение ЛА от радиозоны), К – коммутатор, и – генератор белого шума, ПД – потенциометр дальности (устройство, имитирующее удаление ЛА от ПУ), ⊕ – сумматоры, ФП1, ФП2 – фильтры несущих частот, Д – детекторы несущих частот, Т – триггер, ФСО – фильтр сигнала ошибки, УСО – усилитель сигнала ошибки, ФД – фазовый детектор, ФКС – фильтр командного сигнала.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Запустить систему MICRO – CAP 5 и вызвать файл RADZON5.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 требуется посмотреть [например, V(1)]; в перенести следующие точки 2, 5, 6, 8, 9, 10; в приложении – 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 диапазон значений напряжения в исследуемой точке (если диапазон неизвестен, то поставить значения –10, 10, а также метку против строки Auto Scale Ranges);
нажать кнопку RUN и меню анализ;
3. Для изменения условий анализа войти в меню TRANSIENT, выбрать режим Limits и изменить значения временных параметров или имена контрольных точек.

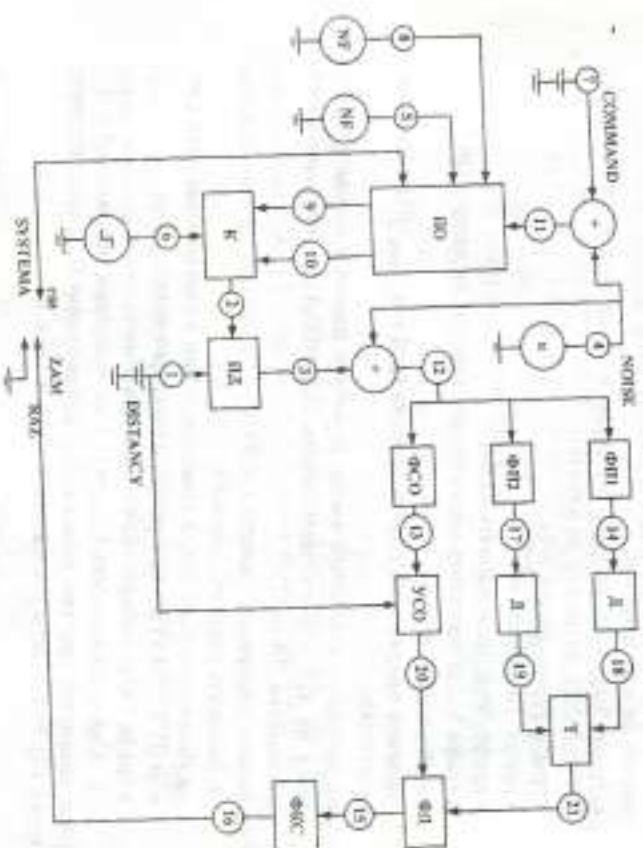


Рис. 7. Структурная схема имитатора системы управления в радиозоне

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

3. Снять зависимость командного напряжения $U_{\text{с}}^{\text{ком}} [V]$ (точка (16)) от углового отклонения $U_{\text{д}}$ [напряжение в точке V(7)] ЛА разомкнутой системы управления при минимальном $G_{\text{мин}}$ и максимальном G_{max} удаления ЛА 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 ЛА 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 Stepping;
 - в графе Step 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 Step Value набрать «2,0»;
 - в графе Status поставить метку против строки On; нажать OK;
 - нажать кнопку $\rightarrow$;
 - значения напряжения для построения графика $U_{avr} = f(U_q)$ снимать при $t = 500$;
 - по методике, описанной выше, изменить значение параметра Display на «2» и снять зависимость $U_{avr} = f(U_q)$ для максимального отклонения DA от ПУ.
- Результаты измерения занести в табл. 1
4. Замкнуть систему, для чего:
- двойным нажатием левой клавиши мыши на слове «да» (над словом SYSTEMA) войти в режим редактирования;
 - в графе Value набрать «да» и нажать Enter.

5. Снять зависимость $U_{avr} = f(U_q)$ по методике, изложенной в п. 3 (при замкнутой системе командному напряжению U_{cmd} соответствует точка 12). Результаты измерений занести в табл. 2.

Таблица 1

U_q , В	T_{min}	T_{max}
	U_{avr} , В	

Таблица 2

U_q , В	T_{min}	T_{max}
	U_{avr} , В	

6. Построить графики зависимости $U_{avr} = f(U_q)$, $U_{avr} = f(U_q)$.
7. Разомкнуть систему, для чего:
- двойным нажатием левой клавиши мыши на слове «да» (над словом SYSTEMA) войти в режим редактирования;
 - в графе Value набрать «та» и нажать Enter.
8. Снять зависимость командного напряжения U_{cmd} [точка 16] от углового отклонения U_q [напряжение в точке V(7)] DA разомкнутой системы управления при минимальном T_{min} удалении DA от пункта управления в условиях действия аддитивных шумов для трех значений уровня шума, для чего:
- установить стрелку на сумматор (между точками 3 и 12), минимизирующий 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 $U_{avr} = f(U_q)$ по методике, изложенной в п. 3;
- результаты измерения занести в табл. 3.

Таблица 3

U_q , В	4	5	6
	U_{avr} , В		

9. Построить зависимость $U_{avr} = f(U_q)$, $U_{avr} = f(U_q)$.

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

$$\beta_{avr} = \Delta U_{avr} / U_{avr}$$

Результаты по оценке β_{avr} занести в табл. 4. Объяснить причины возникновения систематической шумовой ошибки.

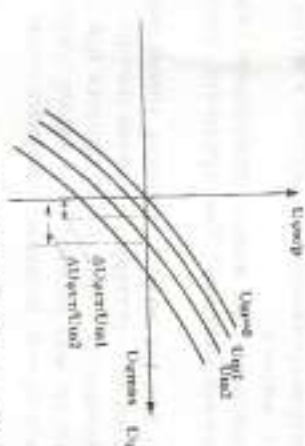


Рис. 8. Оценка систематической шумовой ошибки управления

Таблица 4

U_q	4	5	6
β_{avr}			

11. Снять зависимость командного напряжения U_{cmd} [точка 16] от углового отклонения U_q [напряжение в точке V(7)] DA разомкнутой системы управления при минимальном T_{min} удалении DA от пункта управления в условиях действия мультипликативных шумов для трех значений уровня шума, для чего:

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

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Принципы действия системы управления и радиоканала.
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 радиоканала при учете влияния шума? Как устанавливается структура радиоканала при учете влияния шума 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., Тихунин В.Н. Радиоуправление. М.: Сов. радио, 1973.
2. Моргунов А.Н. Системы радиотелеуправления. Рязань: РРТИ, 1978.
3. Цуккер А.Н. Динамические и флуктуационные ошибки управления объектов. М.: Сов. радио, 1961.