

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

О. Л. СТАРИНОВА, Е. И. ДАВЫДОВ, А. С. КУЧЕРОВ

**СОВРЕМЕННАЯ ТЕОРИЯ УПРАВЛЕНИЯ И СИСТЕМЫ
ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА**

ЭЛЕКТРОННЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

**САМАРА
2010**

УДК 629.7.017.1 (075)

Составители: Ольга Леонардовна Старинова, Евгений Иванович Давыдов, Александр Степанович Кучеров

Электронный лабораторный практикум предназначен для студентов, обучающихся в рамках магистерской программы «Проектирование и конструирование космических мониторинговых и транспортных систем» по направлению 160400.68 «Ракетные комплексы и космонавтика».

Разработано на кафедре летательных аппаратов СГАУ.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТ

На первом лабораторном занятии с магистрами проводится инструктаж по технике безопасности. Работы выполняются бригадой из 3...5 магистров в лаборатории электрорадиооборудования летательных аппаратов и в вычислительном центре кафедры, где каждому магистру предоставляется персональный компьютер. После получения задания магистры знакомятся с пакетом прикладных программ, вариантом задания, принципом действия, конструкцией испытуемого устройства и контрольно-измерительной аппаратурой. Магистры, ознакомившись с экспериментальной установкой, получают разрешение преподавателя на включение установки. При дальнейшей самостоятельной работе магистрам необходимо внимательно производить переключения и измерения во избежание перегрузок приборов. Установка должна быть включена только на то время, в течение которого проводится эксперимент. По окончании эксперимента каждым членом бригады оформляется отчет о проделанной работе и предъявляется преподавателю. Преподаватель проверяет знания, полученные магистрами о принципе действия соответствующего устройства, и оценивает умение анализировать полученные результаты. По проделанной работе магистры должны уметь ответить на контрольные вопросы, приведенные в конце каждой работы.

В процессе выполнения лабораторных работ на персональном компьютере студенты должны выполнить расчетно– графическую работу, которая служит отчетом по лабораторным занятии. В пособии приведен пример выполнения студентом расчетно– графической работы.

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1

Динамические характеристики типовых звеньев и их соединений.....	5
Варианты заданий к расчетно – графической работе.....	9
Содержание расчетно – графической работы.....	10

Лабораторная работа № 2

Компьютеризированный стенд для экспериментального определения динамических характеристик рулевой машины....	12
---	----

Лабораторная работа № 3

Определение передаточной функции САУ по экспериментальным частотным характеристикам.....	30
--	----

Лабораторная работа № 4

Исследование методом моделирования частотных характеристик электроизмерительных приборов.....	35
---	----

Лабораторная работа № 5

Моделирование систем автоматического управления на аналоговой вычислительной машине.....	42
--	----

Лабораторная работа № 6

Качество процессов управления и коррекция САУ.....	57
--	----

Лабораторная работа № 7

Анализ нелинейной системы автоматического управления.....	59
---	----

Лабораторная работа № 8

Получение опытных характеристик систем управления летательных аппаратов.....	64
--	----

Лабораторная работа № 9

Экспериментальное определение характеристик опорожнения баков.....	68
--	----

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	90
---------------------------------------	----

Приложение 1

Система автоматизированного моделирования и параметрической оптимизации СИАМ	91
--	----

Приложение 2

Система автоматизированного моделирования SamSim.....	107
---	-----

Приложение 3

Расчетно–графическая работа.....	122
----------------------------------	-----

Приложение 4

Контрольные вопросы и экзаменационные билеты по курсу...	134
--	-----

Лабораторная работа № 1

Динамические характеристики типовых звеньев и их соединений

Цель работы:

- изучить динамические характеристики типовых звеньев и их соединений и методы их расчетов;
- изучить методику моделирования системы в среде SIAM.

Содержание работы:

- преобразование заданной структурной схемы в одноконтурную и определение передаточной функции системы в разомкнутом и замкнутом состоянии;
- построение переходной функции системы путем исследования ее на ПЭВМ в среде SIAM.

Общие сведения

Элементы, образующие САУ по физической природе весьма разнообразны. Если математическое описание проводить, исходя из физической природы их элементов, и учитывать выполняемые ими функции, то такое описание окажется чрезвычайно трудоемким. Поэтому мат. описание производят не с точки зрения выполняемой функции, а с точки зрения того, как то или иное звено реагирует на поданное на его вход типовое воздействие. В результате большое число элементов можно свести к типовым (эквивалентным) звеньям. Каждое такое звено описывается ДУ не выше второго порядка. Таких звеньев около 12-15.

Для исследования движения любой физической системы необходимо составить её дифференциальное уравнение. Но во многих случаях для расчета, а также для структурного анализа и синтеза широко используются передаточные функции,

характеризующие динамические свойства систем. Передаточной функцией линейной системы называется отношение преобразования Лапласа выходной переменной к преобразованию Лапласа входного воздействия при нулевых начальных условиях.

Передаточные функции и дифференциальные уравнения (ДУ) типовых элементов

1. Усилительное звено.

$$W(p) = k = \frac{Y(p)}{X(p)}; X(p) = \int_0^{\infty} x(t) \cdot e^{-pt} dt; p = \alpha + j \cdot \omega,$$

k — статический коэффициент усиления.

2. Аperiodическое звено.

$$W(p) = \frac{k}{Tp+1}; p = \alpha + j \cdot \omega; \text{ДУ: } T \cdot \frac{dy}{dt} + y(t) = k \cdot x(t); (Tp+1) \cdot y = k \cdot x; p = \frac{d}{dt}.$$

3. Колебательное звено.

$$W(p) = \frac{k}{T^2 p^2 + 2cTp + 1}.$$

4. Консервативное звено. $c = 0$; $W(p) = \frac{k}{T^2 p^2 + 1}$.

5. Неустойчивое колебательное звено.

$$c < 0; W(p) = \frac{k}{T^2 p^2 + 2cTp + 1}.$$

6. Интегрирующее звено.

$$\text{ДУ: } py(t) = k \cdot x_{\text{ex}}(t); W(p) = \frac{k}{p}.$$

7. Дифференцирующее звено.

$$\text{ДУ: } y(t) = kpx(t); W(p) = k \cdot p.$$

8. Форсирующее звено 1-го порядка.

$$\text{ДУ: } y(t) = k(Tp+1)x(t); W(p) = k(Tp+1).$$

9. Форсирующее звено 2-го порядка.

$$\text{ДУ: } y(t) = k(T^2 p^2 + 2cTp + 1)x(t); W(p) = k(T^2 p^2 + 2cTp + 1).$$

10. Звено с «чистым» запаздыванием.

$$\text{ДУ: } y(t) = x(t)(t - \tau); W(p) = e^{-Tp}, \tau \text{ — «чистое» запаздывание.}$$

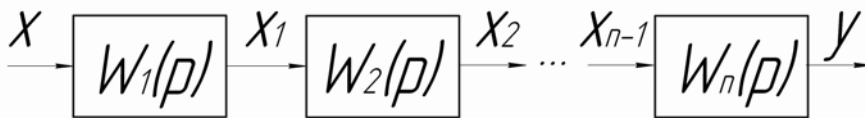
11. Неустойчивое апериодическое звено.

$$W(p) = \frac{k}{Tp-1}$$

Разнообразные связи в САУ можно свести к трем типовым формам связи:

1. Последовательное соединение элементов;
2. Согласно-параллельное соединение элементов;
3. Встречно-параллельное соединение элементов;

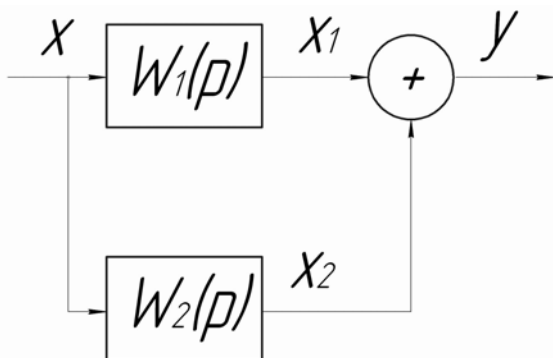
1. Последовательное соединение элементов



При последовательном соединении элементов передаточная функция участка цепи равна произведению передаточных функций отдельных звеньев, т.е.

$$W(p) = W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot \dots \cdot W_n(p)$$

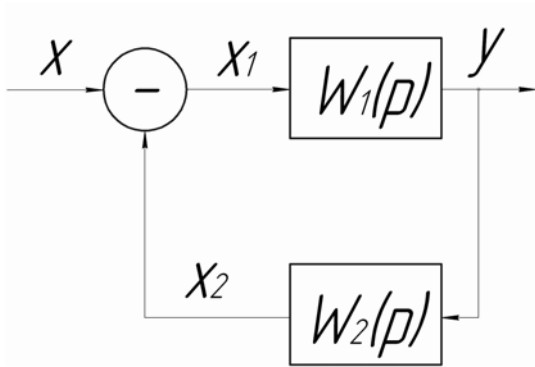
2. Согласно-параллельное соединение элементов



$$W(p) = W_1(p) + W_2(p)$$

При таком соединении возможна перестановка элементов между собой .

3. Встречно-параллельное соединение элементов



$$W(p) = \frac{y(p)}{x(p)};$$

$$x_1(p) = x(p) - x_2(p);$$

$$x(p) = x_1(p) + x_2(p);$$

$$W(p) = \frac{y(p)}{x_1(p) + x_2(p)} = \frac{1}{\frac{x_1(p)}{y(p)} + \frac{x_2(p)}{y(p)}} =$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{W_1(p)} + W_2(p)} = \frac{W_1(p)}{W_1(p) \cdot W_2(p) + 1}.$$

Порядок выполнения работы

1.Используя возможности вычислительной среды SIAM , набрать структурную схему, показанную на рисунке.

2.Для получения переходной функции нажать клавишу F7.

3.Нажать клавишу F2 и выбрать метод интегрирования.

4.Нажать клавишу F3 и после окончания интегрирования нажать клавишу F6. Перевести засветку на выходной блок и нажать "Enter"

На экране появится переходная функция.

5.Для получения численных значений нажать "Esc" и F7.

Варианты заданий
к расчетно – графической работе
по курсу "Теория управления в ОТС"

Тема: *Типовые звенья и их соединения. Характеристики автоматических систем. Анализ устойчивости.*

Цель работы:

- изучить динамические характеристики типовых звеньев и их соединений;
- провести оценку устойчивости системы.

Содержание работы:

- преобразование заданной структурной схемы в одноконтурную и определение передаточной функции системы в разомкнутом и замкнутом состоянии;
- оценка устойчивости системы по критериям Гурвица и Михайлова.

Порядок выполнения работы

Система задана структурной схемой, представленной на рисунке. На структурной схеме обозначено:

$$W_1(p) = k_1 ; \quad W_2(p) = T_2 p ; \quad W_3(p) = k_3 ; \quad W_4(p) = k_4 / (T_4 p + 1) ; \\ W_5(p) = k_5 / (T_5^2 p^2 + 2T_5 C_5 p + 1) .$$

Варианты численных значений параметров передаточных функций заданы в таблице. Для всех вариантов $k_3 = 1$.

1.Используя правила соединения динамических звеньев, свести структурную схему к одноконтурной и определить передаточную функцию разомкнутой системы $W_p(p) = K B(p) / A(p)$ в виде последовательного соединения типовых звеньев.

2.Определить передаточную функцию замкнутой системы, охваченной отрицательной обратной связью.

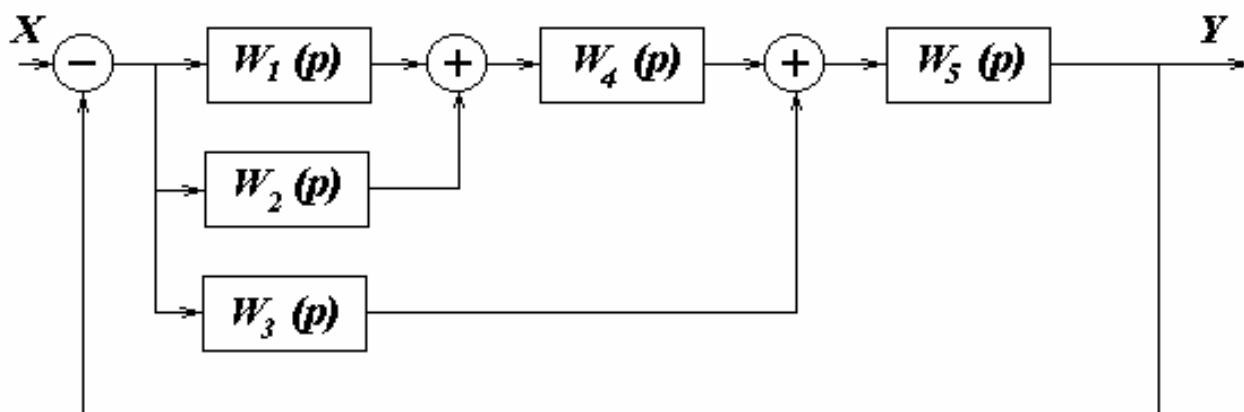
3.Вычислить характеристический полином замкнутой системы.

4.Определить устойчивость системы по:

- алгебраическому критерию Гурвица;
- частотному критерию Михайлова.

Параметры динамических звеньев

№ варианта	Коэффициенты						
	k_1	T_2	k_4	T_4	k_5	T_5	C_5
1	1	0.032	5	0.1	0.5	0.316	0.3
2	1.5	0.237	3.5	0.08	1.12	0.5	0.3
3	1.2	0.169	1.8	0.15	1.58	0.316	0.5
4	2	0.26	3	0.1	1.285	0.346	0.6
5	1.8	0.26	1.6	0.085	1.55	0.31	0.4
6	1.5	0.83	2.5	0.2	1.26	0.22	0.3
7	2	0.196	3	0.12	1.285	0.27	0.35
8	1.3	0.45	2.8	0.15	0.85	0.316	0.25
9	1.4	0.09	1.5	0.1	2.25	0.45	0.5
10	1.2	0.02	2.2	0.05	2.5	0.78	0.25
11	1.6	0.15	1.8	0.07	2.3	0.6	0.35
12	1.8	0.35	2	0.08	1.74	0.66	0.2
13	1.2	0.5	2.5	0.2	2.25	0.45	0.45
14	1.5	0.8	3	0.25	1.25	0.35	0.35
15	2	0.54	1.5	0.18	1.25	0.33	0.4
16	1.8	0.56	2	0.12	1.5	0.3	0.3
17	1	0.32	3	0.1	2.25	0.4	0.25
18	3	0.55	1	0.08	2	0.56	0.25
19	2.5	0.06	1.6	0.05	2.8	0.84	0.35
20	1.5	0.18	2.5	0.15	1.5	0.35	0.6



Структурная схема системы

Содержание расчетно – графической работы

1. Тема работы.

2. Цель работы.
3. Структурная схема автоматической системы с численными значениями коэффициентов.
4. Преобразование исходной схемы к одноконтурной и определение передаточной функции разомкнутой и замкнутой системы.
5. Нахождение характеристического полинома замкнутой системы.
6. Определение устойчивости системы по:
 - алгебраическому критерию устойчивости Гурвица;
 - частотному критерию устойчивости Михайлова.
7. Используя возможности вычислительной среды SIAM, привести графики переходных функций исходной и скорректированной систем, соответствующих различным коэффициентам усиления разомкнутой системы. Оценить влияние коэффициента усиления разомкнутой системы на устойчивость.
8. Графики логарифмических частотных характеристик (ЛЧХ) (амплитудной ЛЧХ и фазовой ЛЧХ) исходной и скорректированной систем. Определить запас устойчивости по фазе на ЛЧХ.
9. Провести оценку качества процессов управления и коррекции САУ в соответствии с методическими указаниями к лабораторной работе №3.
10. Провести анализ нелинейной системы автоматического управления в соответствии с методическими указаниями №3.
11. Выводы по проделанной работе.

В приложении представлен пример оформления студентом расчетно – графической работы.

Лабораторная работа № 2

Компьютеризированный стенд для экспериментального определения динамических характеристик рулевой машины

Цель работы: Ознакомление студентов с конструктивным исполнением и принципом работы рулевой машины, а также с методикой проведения статических, динамических и частотных испытаний для экспериментального определения математической модели.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Для изучения характеристик рулевой машины предложена следующая последовательность выполнения этапов работы:

1. Ознакомление с конструктивным исполнением и принципом работы рулевой машины.
2. Ознакомление с методикой проведения статических и динамических испытаний.
3. Снятие экспериментальной переходной и статической характеристик рулевой машины.
4. Проведение частотных испытаний рулевой машины.
5. Обработка результатов испытаний и получение математической модели рулевой машины.
6. Подготовка отчета по лабораторной работе на стандартном бланке.
7. Сдача зачета по лабораторной работе.

Продолжительность лабораторной работы составляет 2 часа: первый час отводится для выполнения пунктов 1 – 3, второй час – на выполнение пунктов 4 – 7.

1 КОНСТРУКТИВНОЕ ИСПОЛНЕНИЕ И ПРИНЦИП РАБОТЫ РУЛЕВЫХ МАШИН

Рулевые машины применяются в системах управления в качестве исполнительных элементов. В зависимости от типа летательного аппарата и решаемой им задачи рулевые машины являются силовыми приводами

аэродинамических рулей, поворотных рулевых или основных двигателей летательного аппарата.

Применяемые в системах управления пневматические, гидравлические, электрические, электрогидравлические и другие типы рулевых машин являются инерционными элементами. При проектировании систем управления летательного аппарата необходимо знать математическую модель рулевой машины как динамического звена. Это вызвано тем, что рулевая машина является «индивидуальным» звеном системы управления. Если остальные звенья системы управления для различных летательных аппаратов могут быть унифицированы, то рулевые машины такой унификации не поддаются – вызвано целесообразным подбором исполнительных элементов для различных летательных аппаратов.

По своему назначению в системах управления рулевые машины являются преобразователями электрического сигнала (напряжения) с усилителя или вычислительного устройства системы управления в пропорциональный этому напряжению угол поворота вала рулевой машины, а через соответствующую кинематику и в угол поворота аэродинамических рулей летательного аппарата, рулевых или основных двигателей.

Принцип работы и конструктивное исполнение рулевых машин определяются условиями эксплуатации, требованием по быстродействию и силовому моменту на выходном валу. Наибольшее распространение получили электрогидравлические рулевые машины, управление которыми осуществляется электрическими сигналами, а силовые функции обеспечиваются средствами гидравлики. На рис. 1 приведена принципиальная схема электрогидравлической рулевой машины.

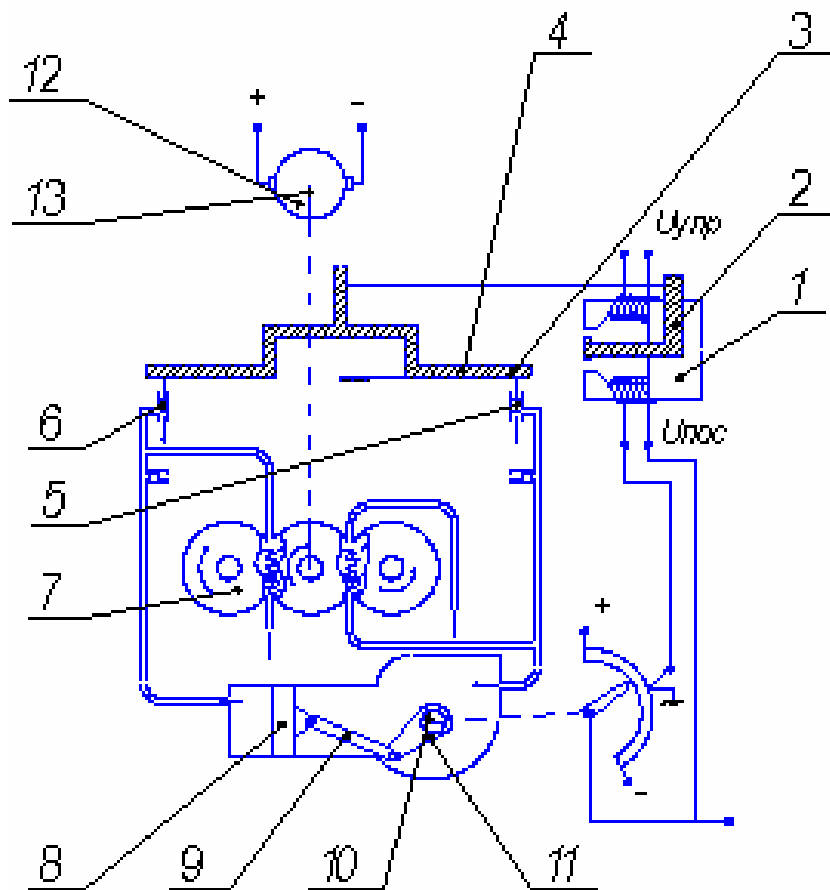


Рисунок 1 – Принципиальная схема РМ

Шестеренчатый насос 7 приводится во вращение электромотором 12 через вал 13. Рабочая жидкость по двум каналам нагнетается в полость высокого давления (цилиндр), разделенного поршнем 8. Золотниковый распределитель 3, подвешенный на пластинчатой пружине 4, перемещаясь, изменяет проходное сечение перепускных отверстий с помощью поршней 5 и 6.

При поступлении на поляризованное реле 1 командного напряжения (соответствующего по величине и знаку требуемому положению рулей), имеющего обмотку управления и обмотку обратной связи (магнитные потоки обмоток имеют противоположное направление), коромысло 2 начинает изменять свое положение в соответствии с направлением суммарного магнитного потока. Перемещение коромысла 2, соединенного с золотниковым распределителем 3, приводит к его отклонению. При этом проходное отверстие одного перепускного отверстия увеличивается, а другого уменьшается. Соответственно изменяется расход масла через отверстия. Давление в одной из сторон цилиндра начинает возрастать, а в другой падать. Поршень 8 начнет двигаться в сторону с меньшим давлением, и через шатун 9 и кривошип 10 поворачивает выходной вал рулевой машины 11, который связан с рулями летательного аппарата и

потенциометром обратной связи 14. Сигнал с потенциометра обратной связи 14, соответствующий по величине и знаку действительному угловому положению рулей, поступит на обмотку обратной связи поляризованного реле 1. Перемещение рабочего поршня 8 будет происходить до тех пор, пока магнитные потоки на обмотке управления и обмотке потенциометра обратной связи не скомпенсируют друг друга.

Конструктивное исполнение рулевой машины показано на рис. 2.

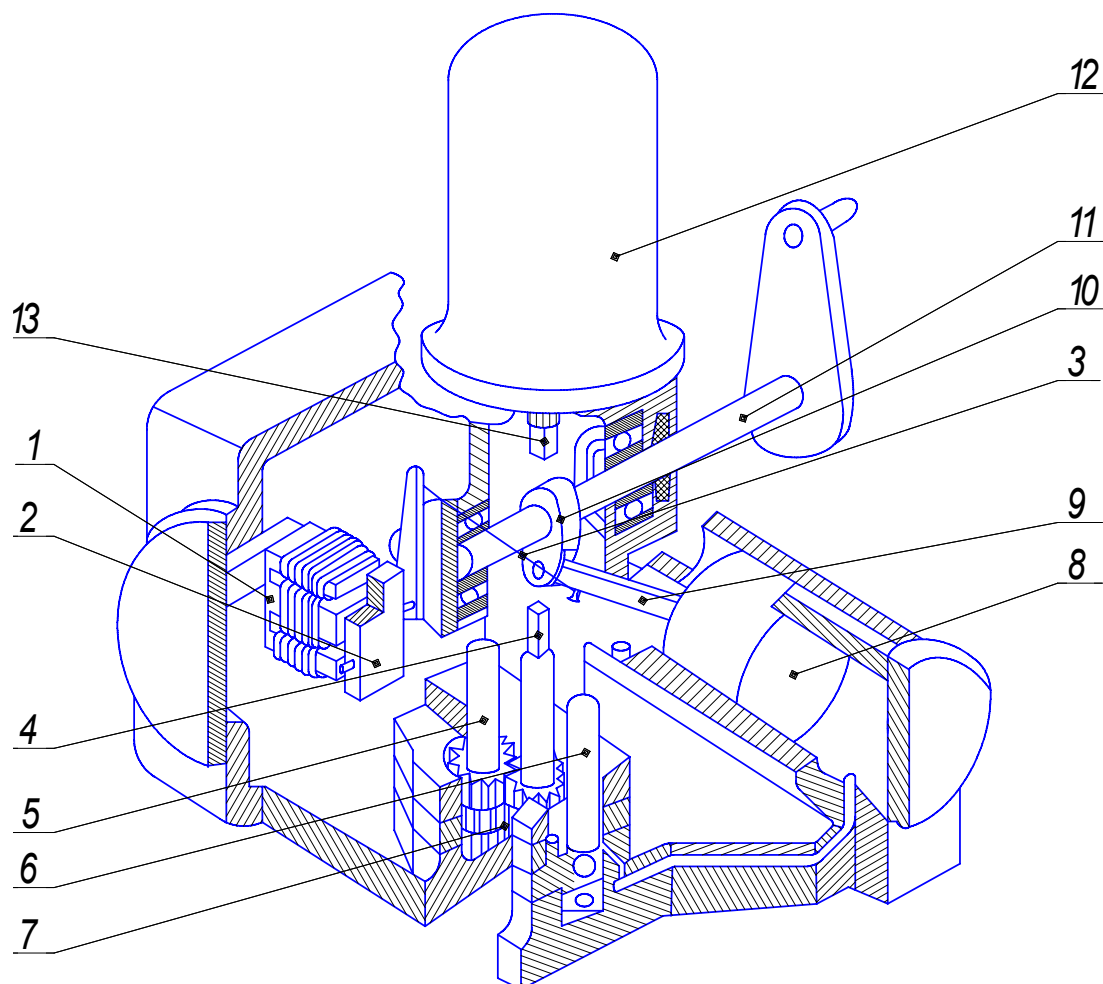


Рисунок 2 – Конструктивное исполнение РМ

2 СТЕНД ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РУЛЕВОЙ МАШИНЫ

В лабораторной работе используется электрогидравлическая РМ, управление которой осуществляется электрическими сигналами, а силовые функции обеспечиваются средствами гидравлики [1].

Для ознакомления с конструктивным исполнением и принципом работы рулевой машины применяется компьютеризированный стенд, представленный на рисунке 3. Лабораторный стенд для динамических и статических испытаний рулевой машины состоит из блока питания 1, электрогидравлической рулевой машины 2 (РМ 8Л69) и персонального компьютера 3.

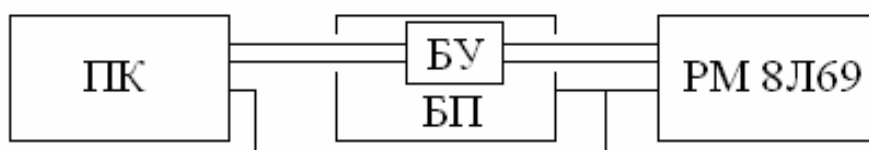


Рисунок 3 – Компьютеризированный лабораторный стенд

На рисунке 4 представлена блок-схема лабораторного стенда.

Блок питания 1 предназначен для обеспечения питания электродвигателя и обмоток поляризованного реле. В состав блока питания входит блок управления. Блок управления включает в свой состав 8-разрядный микроконтроллер, аналогово-цифровой преобразователь (входит в состав микроконтроллера), цифроаналоговый преобразователь, операционный усилитель, электромагнитное реле, «обвязку». Блок управления формирует управляющий сигнал для рулевой машины в соответствии с заложенным алгоритмом и командами управления от персонального компьютера, а также обеспечивает передачу сигнала от

рулевой машины к персональному компьютеру. Взаимодействие персонального компьютера и блока управления осуществляется посредством последовательного интерфейса RS – 232.



ПК - персональный компьютер; БП - блок питания;
РМ 8Л69 - рулевая машина; БУ - блок управления.

Рисунок 4 – Блок-схема лабораторного стенда

Для микроконтроллера платы управления разработана программа, определяющая алгоритм формирования управляющего сигнала от персонального компьютера к рулевой машине. Программа создана с использованием среды разработки CodeVision AVR.

Передняя панель блока питания представлена на рисунке 5.

На переднюю панель блока питания выведены следующие индикаторы:

- «Питание схемы», информирует о исправности цепи в блоке контроллера;

- «Питание двигателя», информирует о подаче напряжения на обмотку электромотора 12 (рис.1, 2);

- «Сигнал «РМ-ЭВМ» - тестовый сигнал, информирует о исправности соединения (связи) между блоком питания и персональным компьютером;

- тумблер «Сеть» (с индикатором), обеспечивает подачу питания на блок питания и рулевую машину.



Рисунок 5 – Передняя панель блока питания

Принцип действия и конструктивное исполнение рулевой машины 2 (рис.3) приведены в разд. 1. В лабораторном стенде на корпус 1 рулевой машины для визуального определения угла отклонения выходного вала 2 установлена шкала 3 с градуировкой от «минус» 50 до «плюс» 50 градусов, а на выходном валу РМ жестко закреплена стрелка для отсчета углового положения (рис.6).

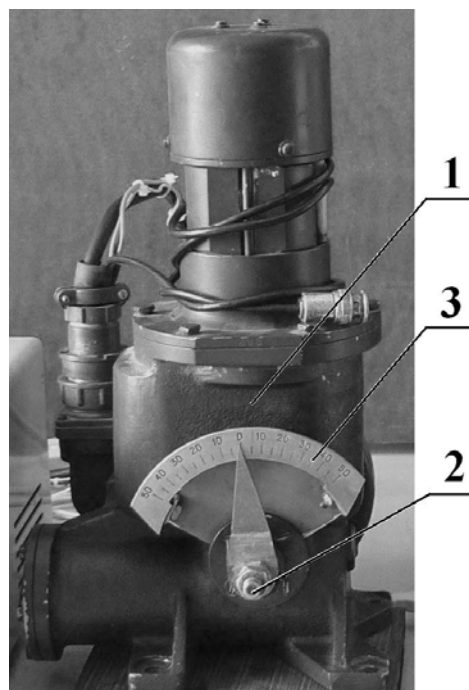


Рисунок 6 – Индикатор угла поворота выходного вала рулевой машины

На персональном компьютере 3 (см. рис. 3) установлена программа интерфейса «Control_Dynamic.exe». Она обеспечивает задание управляющего сигнала с выбранной частотой, обработку выходного

сигнала рулевой машины, пропорционального углу поворота выходного вала, управление и визуализацию результатов работы рулевой машины на мониторе компьютера. На рис. 7 представлено окно программы «Control_Dynamic.exe» при запуске. Программа написана с использованием среды разработки Delphi.




Рисунок 7 – Окно программы интерфейса «Control_Dynamic.exe» при запуске

На стенде выполняются следующие эксперименты:

1. Определение статических свойств рулевой машины;
2. Определение переходных характеристик рулевой машины;
3. Проведение частотных испытаний рулевой машины.

Проведение заданного эксперимента осуществляется нажатием на соответствующую «иконку» в окне программы.

Выход из программы осуществляется нажатием на кнопку , расположенную в верхнем правом углу окна программы (рис.7).

3 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

В процессе испытаний на вход рулевой машины подается типовой управляющий сигнал. В качестве типового сигнала используются ступенчатое, импульсное и гармоническое входные управляющие воздействия.

Выходным параметром рулевой машины является угол поворота выходного вала. Контроль выходного параметра рулевой машины (угла поворота вала) осуществляется измерением угла поворота вала по установленной для этих целей на рулевой машине шкале и путем контроля напряжения с потенциометра обратной связи, установленного на выходном валу рулевой машины.

При статических испытаниях рулевой машины на вход подаются различные по величине и знаку напряжения, для каждого фиксированного входного управляющего напряжения замеряется угол поворота выходного вала рулевой машины. По результатам статических испытаний строится статическая характеристика рулевой машины и определяется коэффициент усиления рулевой машины. Статическая характеристика рулевой машины приведена на рис. 8. Размерность коэффициента передачи РМ – градус на вольт (град/В).

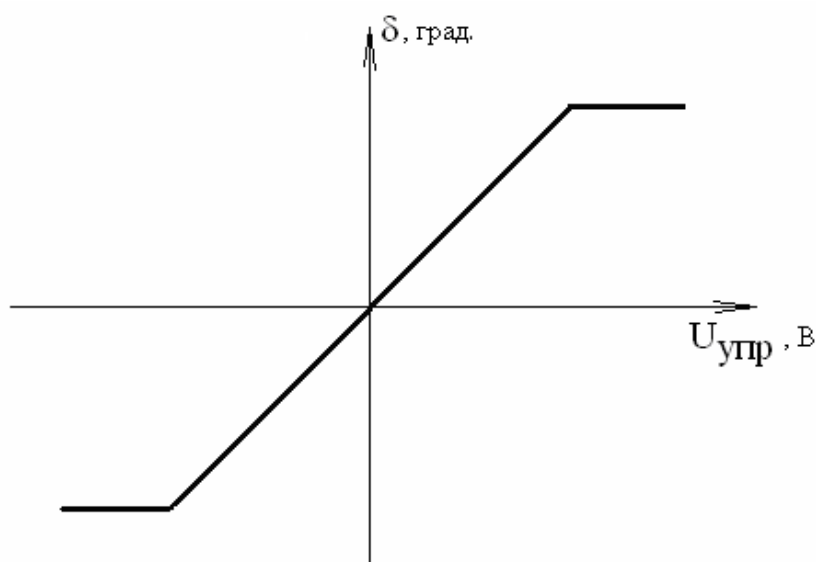


Рисунок 8 – Статическая характеристика рулевой машины

Для снятия переходной характеристики рулевой машины входное управляющее напряжение должно изменяться по ступенчатому закону. Реакция рулевой машины на ступенчатый входной сигнал, т. е. зависимость угла поворота выходного вала рулевой машины от времени $\delta(t)$, представляет собой переходную характеристику рулевой машины. Угол поворота вала контролируется по напряжению с потенциометра обратной связи, установленного на выходном валу рулевой машины.

При частотных испытаниях рулевой машины входное управляющее напряжение изменяется по гармоническому закону. Закон изменения угла поворота выходного вала рулевой машины по времени имеет гармонический характер. Для каждого фиксированного значения частоты

входного управляющего напряжения ($0.1 \div 10$ Гц) измеряется отношение амплитуд и фазовый сдвиг угла поворота выходного вала и управляющего напряжения. Контроль угла поворота вала осуществляется по напряжению с потенциометра обратной связи рулевой машины.

4 ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

4.1 Определение статических свойств рулевой машины

Для проведения исследований на компьютеризированном стенде необходимо:

1. Включить блок питания и персональный компьютер.
2. Запустить программу «Control_Dynamic.exe».

При запуске программы на экране монитора появится окно программы (см. рис.7).

Для определения статических свойств рулевой машины на экране монитора нажать клавишу «Часть 1. Определение статических свойств рулевой машины». В результате на экране монитора высветится окно программы, как представлено на рисунке 9.

Окно программы при исследовании статических свойств состоит из трех функциональных частей (1 - «Исходные данные», 2 – «График» и 3 – «Таблица»).

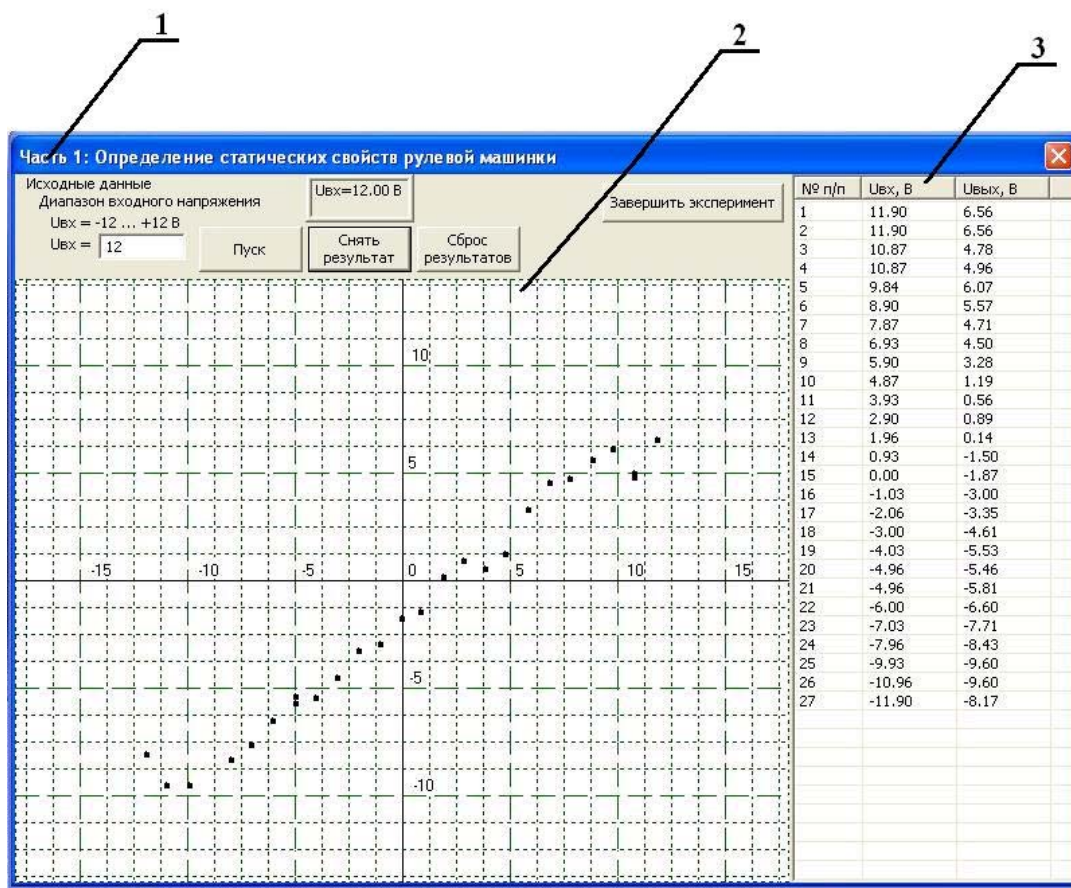


Рисунок 9 – Окно программы при исследовании статических свойств рулевой машины

Блок исходных данных содержит:

1. Название эксперимента.
2. Диапазон допустимых значений входного напряжения, ограниченный зоной насыщения рулевой машины по напряжению (рис.8)
3. Окно ввода входного напряжения « $U_{вх}=\Rightarrow$ ».
4. Клавишу «Пуск», для передачи сигнала на управляющую обмотку поляризованного реле рулевой машины.
5. Клавишу «Снять результат», для отображения сигнала угла отклонения выходного вала рулевой машины в графическом и табличном видах.
6. Клавишу «Сброс результатов», для сброса результатов эксперимента.
7. Клавишу «Завершить эксперимент», для выхода из эксперимента.

Блок «График» служит для визуализации результатов эксперимента в графическом виде. Идентичен графику статической характеристики рулевой машины (рис. 8).

Блок «Таблица» содержит таблицу результатов эксперимента (входное и выходное напряжения).

В данном окне (рис.9) последовательно в блок исходных данных, в окно « $U_{вх}=\Rightarrow$ » вводится значение напряжения от «-» 12В до «+»12В. При нажатии клавиши «Пуск» программа (через блок управления) подает напряжение на обмотку управления поляризованного реле рулевой машины. В соответствии со значением и знаком напряжения вал рулевой машины отклоняется на соответствующий напряжению угол. Отклонение угла отклонения вала контролируется на шкале, установленной на рулевой машине, и на экране монитора строится статическая характеристика рулевой машины. Для занесения результатов в таблицу необходимо нажать клавишу «Снять результат».

Эксперимент повторяется необходимое количество раз, для получения полной картины отклонения вала при различных задающих напряжениях. По результатам статических испытаний построить статическую характеристику рулевой машины (см. рис. 8) и определить коэффициент

усиления рулевой машины. Размерность коэффициента усиления рулевой машины – градус на вольт (град/В).

Для выхода из режима необходимо нажать клавишу «Завершить эксперимент».

4.2 Определение переходной характеристики рулевой машины

Для определения переходной характеристики рулевой машины на экране монитора (см. рис.7) нужно нажать клавишу «Часть 2. Определение переходных характеристик рулевой машины». В результате чего на экране монитора появится следующее окно программы, представленное на рис. 10.

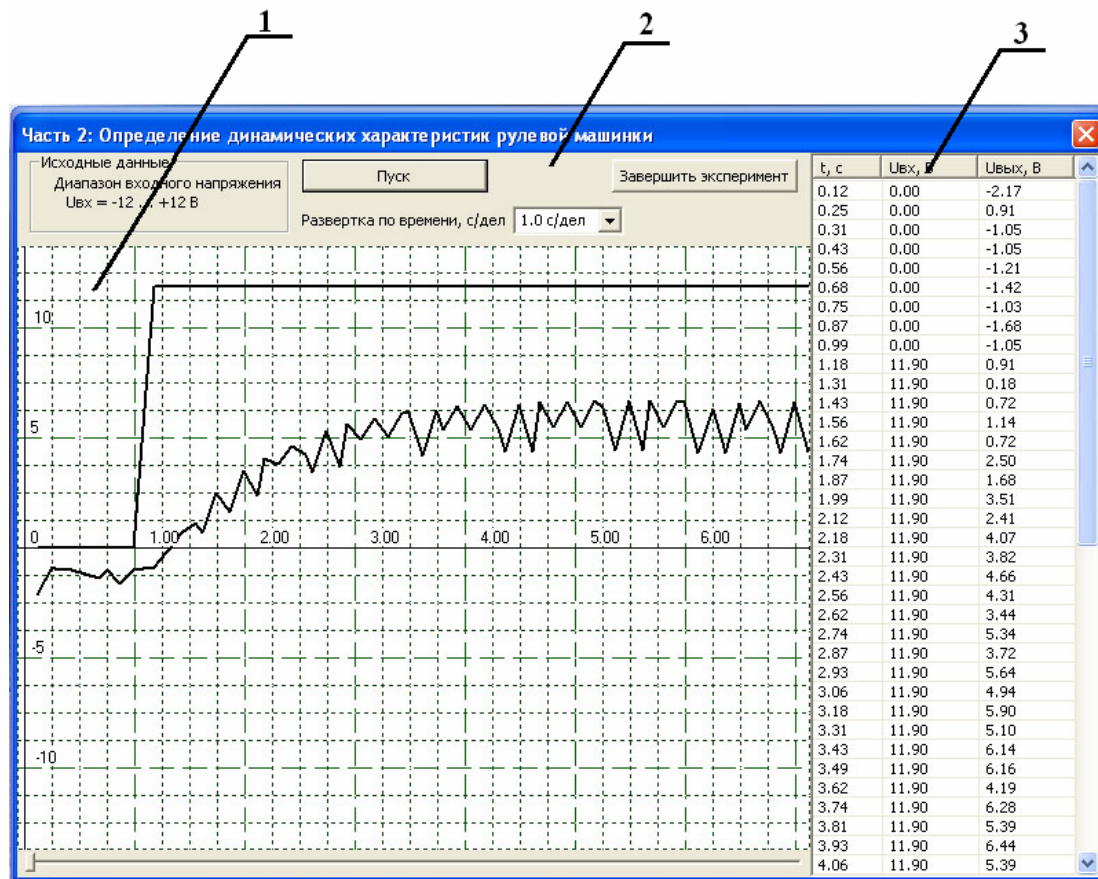


Рисунок 10 – Определение переходных характеристик рулевой машины

Окно программы при исследовании статических свойств состоит из трех функциональных частей (1 – «Исходные данные», 2 – «График» и 3 – «Таблица»).

Блок исходных данных содержит:

1. Название эксперимента.
2. Диапазон допустимых значений входного напряжения, ограниченный зоной насыщения рулевой машины по напряжению (рис.8).
3. Клавишу «Пуск», для передачи сигнала на управляющую обмотку поляризованного реле рулевой машины.
4. Окно выбора «Развертка по времени», для выбора масштаба построения графика переходного процесса.
5. Клавишу «Завершить эксперимент», для выхода из эксперимента.

Блок «График» служит для визуализации результатов эксперимента в графическом виде. Блок «Таблица» содержит таблицу результатов эксперимента (время, входное и выходное напряжения).

Для проведения эксперимента по определению переходных характеристик рулевой машины необходимо:

- задать масштаб по оси абсцисс, выбрав из списка предложенный масштаб (окно «Развертка по времени»);
- нажать на клавишу «Пуск».

Программа, через блок управления, на обмотку управления рулевой машины подаст через одну секунду постоянное напряжение (ступенчатое воздействие), равное 12 В. На экран монитора будут выведены напряжение управляющего сигнала и напряжение с потенциометра. Поворот угла отклонения вала контролируется на шкале, установленной на корпусе рулевой машины, и на экране монитора строится реакция рулевой машины на ступенчатый входной сигнал.

Значения результатов эксперимента заносятся в таблицу. По результатам расчетов определить параметры передаточной функции (рис.11): коэффициент усиления k , постоянную времени T .

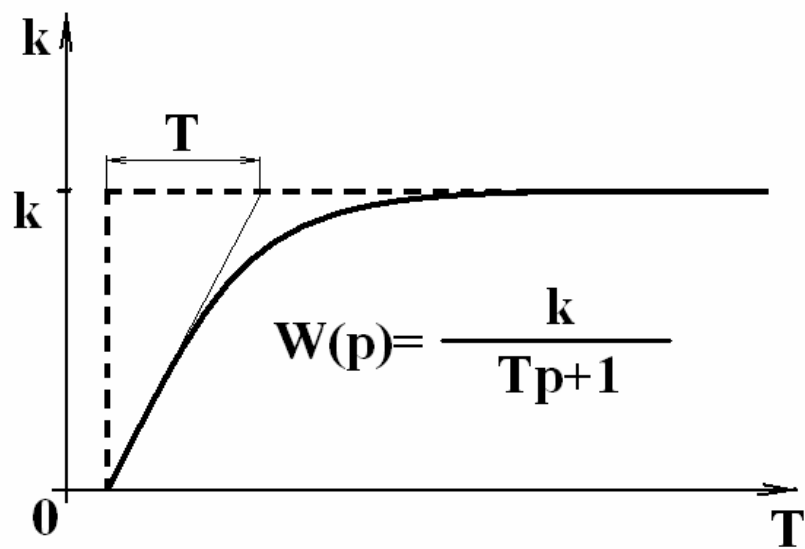


Рисунок 11 – Переходная характеристика и передаточная функция рулевой машины

Определив параметры передаточной функции рулевой машины (k , T), постройте амплитудную $A(\omega)$ и фазовую $\varphi(\omega)$ частотные характеристики рулевой машины, согласно приведенным уравнениям, в диапазоне частот (ω) от 0,1 до 10 Гц.

$$A(\omega) = \frac{k}{\sqrt{1 + \omega^2 T^2}};$$

$$\varphi(\omega) = -\text{arctg}(\omega T).$$

Результаты испытаний свести в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Определение частотных характеристик рулевой машины на основе экспериментальной характеристики

f , Гц	ω , с^{-1}	$\lg \omega$, дек.	$A(\omega)$	$20 \lg A(\omega), \varphi(\omega)$ дБ
0,1				
0,15				
0,22				
...				
10				

Учитывая, что частотные характеристики рулевой машины строятся в логарифмическом масштабе, при выборе фиксированных значений частот входного сигнала желательно, чтобы они отличались на постоянный множитель. При этом шаг изменения частоты в логарифмическом масштабе будет постоянным. Рекомендуемое значение этого множителя 1.5.

Для выхода из режима необходимо нажать клавишу «Завершить эксперимент».

4.3 Проведение частотных испытаний рулевой машины

Для проведения частотных испытаний рулевой машины на экране монитора (см. рис.7) нужно нажать клавишу «Часть 3. Проведение частотных испытаний рулевой машины». В результате чего на экран монитора будет выведено окно программы, см. рис. 12.

Окно программы при исследовании статических свойств состоит из трех функциональных частей (1 - «Исходные данные», 2 – «График» и 3 – «Таблица»).

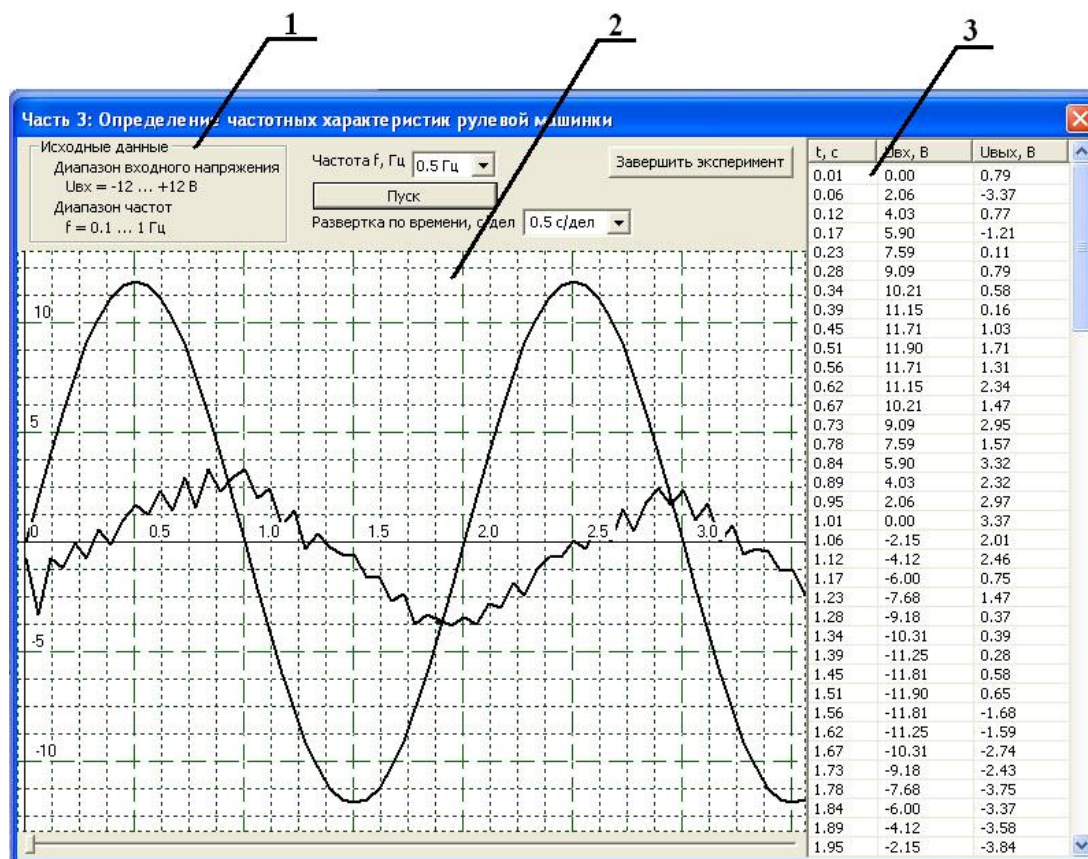


Рисунок 12 – Окно программы при проведении частотных испытаний рулевой машины

Блок исходных данных содержит:

1. Название эксперимента.
2. Диапазон допустимых значений входного напряжения, ограниченный зоной насыщения РМ по напряжению (рис.8).
3. Диапазон рабочих частот РМ (от 0,1 до 10 Гц).
4. Окно ввода заданной частоты «Частота f , Гц».
5. Клавишу «Пуск», для передачи сигнала на управляющую обмотку поляризованного реле рулевой машины.
6. Окно «Развертка по времени», для выбора масштаба построения графика переходного процесса по оси абсцисс.
7. Клавишу «Сброс результатов», для сброса результатов эксперимента.
8. Клавишу «Завершить эксперимент», для выхода из эксперимента.

Блок «График» служит для визуализации результатов эксперимента в графическом виде.

Блок «Таблица» содержит таблицу результатов эксперимента (входное и выходное напряжения).

В данном эксперименте на вход управляющей обмотки рулевой машины подается напряжение с амплитудой, равной $\pm 12\text{В}$ и частотой от 0,1 Гц до 10 Гц.

При проведении эксперимента соблюдайте следующую последовательность действий:

1. В окне «Частота f , Гц» задайте рабочую частоту, равную 0,1 Гц.
2. В окне «Развертка по времени, с/дел.» выберите масштаб по оси абсцисс.
3. Нажмите клавишу «Пуск». Программа через плату управления будет моделировать и передавать на управляющую обмотку рулевой машины синусоидальный сигнал с заданной амплитудой и частотой, а также принимать с обмотки обратной связи напряжение, пропорциональное углу отклонения управляющего вала рулевой машины. Результаты эксперимента выводятся на экран монитора как в табличном виде, так и в виде графика.

4. Запишите значения амплитуд входного $A_{вх}(\omega)$ и выходного сигналов $A_{вых}(\omega)$, а также смещение фаз данных сигналов $\varphi(\omega)$ (рис.13).

Отношение амплитуд $A(\omega)$ и фазовый сдвиг $\varphi(\omega)$ для каждого фиксированного значения частоты рассчитываются по формулам:

$$A(\omega) = \frac{2A_{вых}(\omega)}{2A_{вх}(\omega)},$$

$$\varphi(\omega) = 360^\circ \frac{l(\omega)}{L(\omega)} = 180^\circ \frac{l(\omega)}{L(\omega)/2}.$$

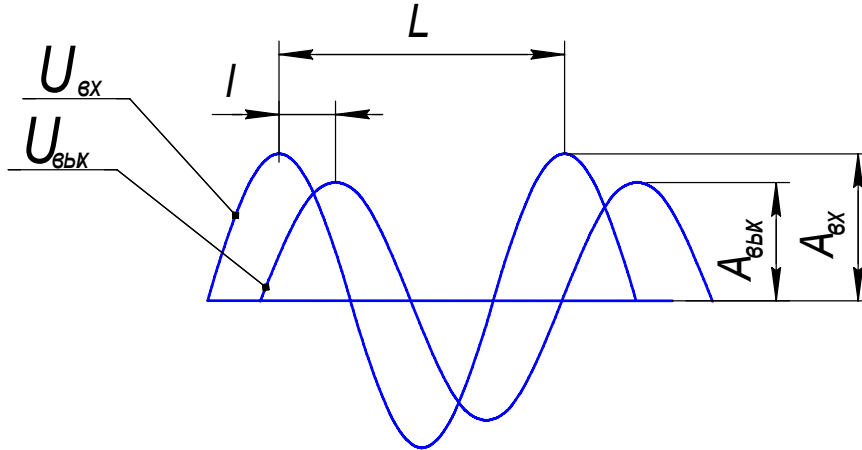


Рисунок 13 – Отношение амплитуд и фазовый сдвиг на выбранной частоте

5. Выберите следующую частоту из списка в окне «Частота f, Гц».

6. Повторите пункты 1 – 6 до достижения рабочей частоты, равной 10 Гц.

Результаты испытаний свести в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Частотные испытания рулевой машины

f , Гц	ω , c^{-1}	lg ω , дек.	$A_{вх}(\omega)$, В	$A_{вых}(\omega)$, В	$A(\omega)$, В	$20lg$ $A(\omega)$, дБ	$l(\omega)$)	$L(\omega)$)	$\varphi(\omega)$)
0,1									
0,1									
5									
...									
9									

Для выхода из режима – нажать клавишу «Завершить эксперимент».

Получив картину изменения отношения амплитуд $A(\omega)$ и фазового сдвига $\varphi(\omega)$ в выбранном диапазоне частот (от 0,1 до 10 Гц), проведите следующий анализ:

- сравните графики амплитудных $A(\omega)$ и частотных характеристик $\varphi(\omega)$ рулевой машины, полученные из данного эксперимента (табл. 4.2) и при определении переходной характеристики рулевой машины;

- постройте экспериментальные ЛАЧХ и ЛФЧХ рулевой машины.

По завершении эксперимента подготовить отчет.

5 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Типы рулевых машин, применяемых в системах управления летательного аппарата.
2. Принцип работы рулевой машины.
3. Конструктивное исполнение рулевой машины.
4. Принцип работы лабораторного стенда.
5. Методика проведения статических испытаний рулевой машины.
6. Методика определения переходных характеристик рулевой машины.
7. Методика проведения частотных испытаний рулевой машины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Душин, С.Е. Теория автоматического управления / С.Е. Душин, Н.С. Зотов, Д.Х. Имаев. – М.: Высш. шк., 2005. – 567с.
2. Основы управления полетом космических аппаратов: учеб. пособие для вузов / – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 480 с.

Лабораторная работа № 3

Определение передаточной функции САУ по экспериментальным частотным характеристикам

Цель работы:

- Изучить методику экспериментального определения частотных характеристик;
- Ознакомится с лабораторной установкой для снятия частотных характеристик двухкоординатного самопишущего прибора;
- Получить передаточную функцию системы на основе частотных испытаний.

Очень часто при исследовании систем автоматического управления (САУ) в качестве типового входного сигнала используется синусоидальный сигнал, изменяющийся с определенной частотой. При этом наблюдают, как будет вести себя система, т.е. как будет изменяться выходной сигнал, каковы будут его амплитуда и начальная фаза. Такой метод анализа называется частотным.

Если система является линейной, то при непрерывном воздействии синусоидального входного сигнала выходной сигнал и сигнал ошибки также будут изменяться по синусоидальному закону с той же частотой, но, как правило, с другими амплитудами и фазами.

Если частоту входного сигнала изменить, то изменится не только частота, но и амплитуда и фаза выходного сигнала ошибки.

Частотные характеристики системы могут быть построены аналитически, если известна передаточная функция $W(p)$. Частотная функция $W(j\omega)$, которая характеризует зависимость соотношений амплитуд и фазовых сдвигов входного и выходного гармонических сигналов от частоты, может быть получена формально заменой в передаточной функции p на $j\omega$. Т.е., $p = j\omega$.

Если передаточная функция имеет вид

$$W(p) = \frac{b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + \dots + b_0}{a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_0}, \quad (1)$$

то частотная функция

$$W(j\omega) = \frac{b_m (j\omega)^m + b_{m-1} (j\omega)^{m-1} + \dots + b_0}{a_n (j\omega)^n + a_{n-1} (j\omega)^{n-1} + \dots + a_0} = P(\omega) + jQ(\omega), \quad (2)$$

где $P(\omega)$ – вещественная частотная функция;

$Q(\omega)$ – мнимая частотная функция.

Частотная функция $W(j\omega)$ может быть представлена в показательной форме

$$W(j\omega) = A(\omega) e^{j\varphi(\omega)}, \quad (3)$$

где $A_{\text{Вых}}(\omega)$

$$A(\omega) = \frac{A_{\text{Вых}}(\omega)}{A_{\text{Вх}}(\omega)} = |W(j\omega)| = \sqrt{P^2(\omega) + Q^2(\omega)};$$

$$\varphi(\omega) = \varphi_{\text{вых}}(\omega) - \varphi_{\text{вх}}(\omega) = \arg \operatorname{tg} W(j\omega) = \operatorname{arc} \operatorname{tg} Q(\omega)/P(\omega);$$

$A(\omega)$ – амплитудно – частотная функция;

$\varphi(\omega)$ – фазо – частотная функция.

Графические зависимости $P(\omega)$, $Q(\omega)$, $A(\omega)$, $\varphi(\omega)$ представляют собой соответствующие частотные характеристики. В теории автоматического управления широко используются логарифмические частотные характеристики /ЛЧХ/, которые характеризуют зависимость $20\lg A(\omega)$ в децибелах (дб) от $\lg \omega$ в декадах (дек) и $\varphi(\omega)$, град от $\lg \omega$, дек /рис.1/.

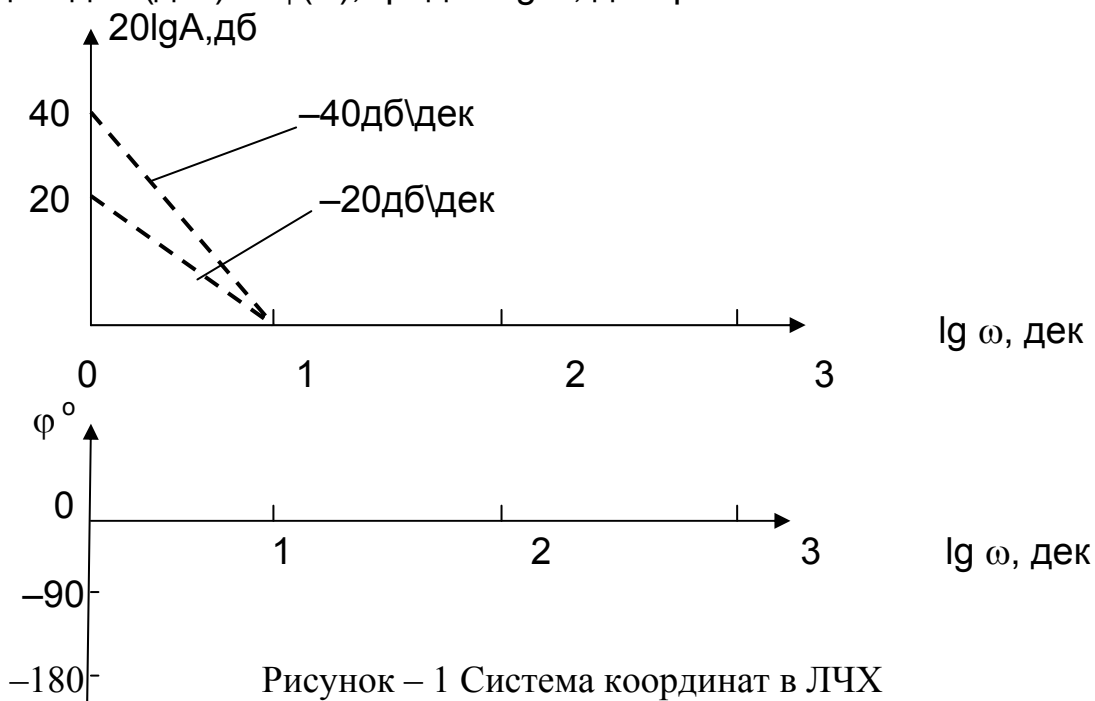


Рисунок – 1 Система координат в ЛЧХ

Изменение отношения амплитуд $A(\omega)$ в 10 раз соответствует изменению $20\lg A(\omega)$ на 20 дб, в 100 раз – на 40 дб и т.д. Изменению частоты ω в 10 раз соответствует изменению $\lg \omega$ на 1 дек., в 100 раз – на 2 дек. и т.д.

Можно показать, что ЛАЧХ типовых звеньев, т.е. звеньев описываемых дифференциальными уравнениями не выше второго порядка, достаточно точно аппроксимируются ломанной линией с углом наклона, тангенс которых кратен 20дб/дек (0, +20, +40, ..., -20, -40дб/дек).

Если передаточная функция элемента неизвестна, то ЛЧХ могут быть построены по результатам частотных испытаний. В рассматриваемом диапазоне частот от ω_{\min} до ω_{\max} для каждого фиксируемого значения частоты ω_k экспериментально определяются значения

$$A(\omega) = \frac{A_{\text{вых}}(\omega_k)}{A_{\text{вх}}(\omega_k)} \quad \text{и} \quad \varphi(\omega_k) = \varphi_{\text{вых}}(\omega) - \varphi_{\text{вх}}(\omega). \quad (4)$$

Строятся графики экспериментальных ЛАЧХ, ЛФЧХ, по которым путем сравнения с ЛЧХ типовых звеньев определяются вид передаточной функции и рассчитываются коэффициенты.

Статический коэффициент усиления K определяется для интегрирующих звеньев значением $A(\omega)$ при $\omega_0 = 1/T_c$; ($\lg \omega_0 = 0$); $20 \lg K(\omega) = 20 \lg A(\omega_0)$. (5)

Для остальных звеньев K определяется значением $A(\omega)$ при $\omega \rightarrow 0$.

Постоянная времени T для типовых звеньев определяется по сопрягающей частоте ω_c , т.е. по частоте излома ЛАЧХ

$$\lg \omega_c = \lg 1/T. \quad (6)$$

Если исследуемый элемент описывается дифференциальным уравнением выше второго порядка, то ЛАЧХ достаточно точно аппроксимируется ломанной линией с углами наклона, тангенс которых кратен 20 дБ/дек. Коэффициенты передаточной функции рассчитываются через передаточные функции типовых составляющих звеньев по частотам излома ЛАЧХ. В отдельных случаях, когда не удастся аппроксимировать ЛАЧХ ломанной линией, можно задаваться видом передаточной функции элемента и определить коэффициенты путем решения системы уравнений для различных экспериментальных значений $A(\omega_k)$:

$$W(j\omega) = \frac{b_m(j\omega)^m + b_{m-1}(j\omega)^{m-1} + \dots + b_0}{a_n(j\omega)^n + a_{n-1}(j\omega)^{n-1} + \dots + a_0} = P(\omega_k, a_i, b_i) + jQ(\omega_k, a_i, b_i); \quad (7)$$

$$P(\omega_k, a_i, b_i) = A(\omega_k) \cos \varphi(\omega_k);$$

$$Q(\omega_k, a_i, b_i) = A(\omega_k) \sin \varphi(\omega_k). \quad (8)$$

Система уравнений (8) может быть задана с избытком информации, если количество фиксированных значений частот превышает число неизвестных коэффициентов ($m + n + 2$). Вид уравнений (8) зависит от внешнего вида передаточной функции. Оценка точности расчета коэффициентов может быть выполнена в результате сравнения экспериментальных ЛЧХ и построенных по расчетной $W(j\omega)$.

В данной работе предлагается экспериментально исследовать двухкоординатный прибор. Прибор самопишущий двухкоординатный типа Н307 предназначен для регистрации в прямоугольных координатах в линейном или логарифмическом масштабах функциональной зависимости двух измеряемых величин, представленных в виде электрических сигналов напряжения постоянного тока; синусоидального напряжения переменного тока (действующего значения) в диапазоне частот от 45 до 20000 Hz.

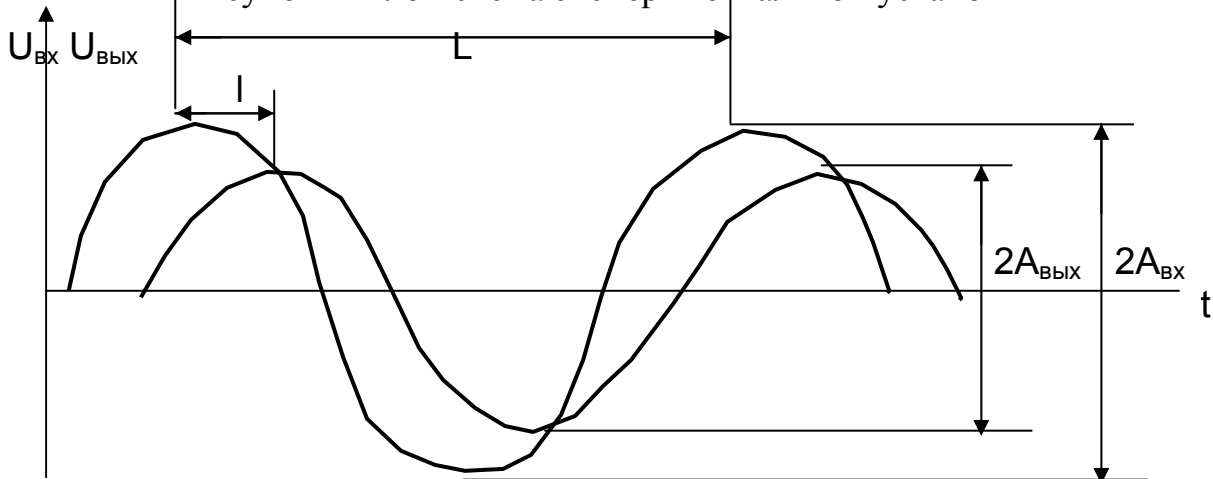
Порядок выполнения работы

1. Собрать схему согласно рис.
2. Включить генератор, осциллограф, испытуемую систему (самопишущий

двухкоординатный прибор). На осциллограф через клеммы "1" и "2" будут подаваться входной и выходной сигналы исследуемой системы. С помощью регуляторов "Амплитуда синхронизации", "Частота плавно" добиться неподвижного изображения входного и выходного сигналов на экране осциллографа /рис. 3/.



Рисунок–2 Блок-схема экспериментальной установки



Рисунок–3 Изображение входного и выходного сигналов

2. В заданном диапазоне частот от f_{\min} до f_{\max} выбрать фиксированные значения частот f , Гц. Нижний предел частоты $f_{\min} = 0,01$ Гц. Верхний предел частоты зависит от типа звена (системы) и соответствует частоте, при которой амплитуда выходного сигнала еще может быть измерена. Значение частот f_k должны различаться на постоянный множитель (рекомендуется 1,5). В этом случае шаг по оси будет постоянным. Рекомендуемые частоты $f_k = 0,1; 0,15, \dots$

Для каждого значения частоты измерять отношение амплитуд

$$\text{и сдвиг по фазе } \varphi(\omega_k) = \frac{l}{L \setminus 360^0} = \frac{l \times 180^0}{L \setminus 2},$$

$$A(\omega) = \frac{A_{\text{ВЫХ}}(\omega_k)}{A_{\text{ВХ}}(\omega_k)},$$

где m_u, m_φ – масштабы представления переменных U вольт, φ град.

Расчет численных значений частотных характеристик можно свести в таблицу.

3. Построить графики логарифмических амплитудных и фазовых частотных характеристик $20\lg A(\omega)$.

4. Определить вид передаточной функции и рассчитать коэффициенты.

Таблица

Результаты эксперимента

f, Гц	ω , 1\с	lg ω , дек	$2A_{вх}$, мм	$2A_{вых}$, мм	A(ω)	$20\lg A(\omega)$, дц	l, мм	L, мм	φ , град
0,1									
...									
...									
...									
...									
6,0									

Содержание отчета

1. Схема экспериментальной установки (рис. 2).
2. Таблица расчетов частотных характеристик.
3. Графики логарифмических амплитудных и фазовых частотных характеристик ЛАЧХ ЛФЧХ.
4. Передаточная функция исследуемой системы с численно найденными значениями коэффициентов.

Контрольные вопросы

1. Что такое частотный метод анализа?
2. Получение частотной функции из передаточной функции.
3. Вещественные и мнимые частотные характеристики.
4. Амплитудно – частотная функция.
5. Фазо – частотная функция.
6. Логарифмические амплитудные и фазовые частотные характеристики (ЛАЧХ, ЛФЧХ).
7. Экспериментальное определение частотных характеристик.
8. Определение вида и численных значений коэффициентов передаточной функции по экспериментальным ЛАЧХ, ЛФЧХ.
9. Определение передаточной функции и численных значений ее коэффициентов в случае, если исследуемый элемент (система) описывается дифференциальным уравнением выше второго порядка.
10. Как провести оценку точности экспериментально полученной передаточной функции?

1. Иващенко И.Н. Автоматическое регулирование. – М.: Машиностроение, 1978, – 736с.
2. Сборник задач по теории автоматического регулирования и управления. / Под ред. В.А.Бесекерского. – М.: Наука, 1969, – 588с.

Лабораторная работа № 4

Исследование методом моделирования частотных характеристик электроизмерительных приборов

Целью работы является освоение методики исследования динамических свойств электроизмерительных приборов методом моделирования и подбора с помощью электронных моделей корректирующих звеньев для получения требуемой частотной характеристики электроизмерительного прибора.

Общие сведения

Электроизмерительный стрелочный прибор преобразует поданный на его вход электрический сигнал в пропорциональное сигналу перемещение, которое может быть отсчитано оператором. Следовательно, всякий электроизмерительный прибор в общем случае можно рассматривать как преобразователь. Большинство электроизмерительных приборов являются преобразователями, у которых отсутствует обратная связь между выходом и входом, и поэтому динамические погрешности этих приборов никак не корректируются. Динамическая разрешающая способность электроизмерительного прибора определяется полосой пропускания, в пределах которой измеряемая величина воспроизводится с погрешностью, не большей, чем некоторая допустимая величина Δ . На рисунке приведены амплитудные частотные характеристики двух

приборов. Для одного из них полоса пропускания равна ω_1 , а для другого - ω_2 при равных допустимых ошибках Δ .

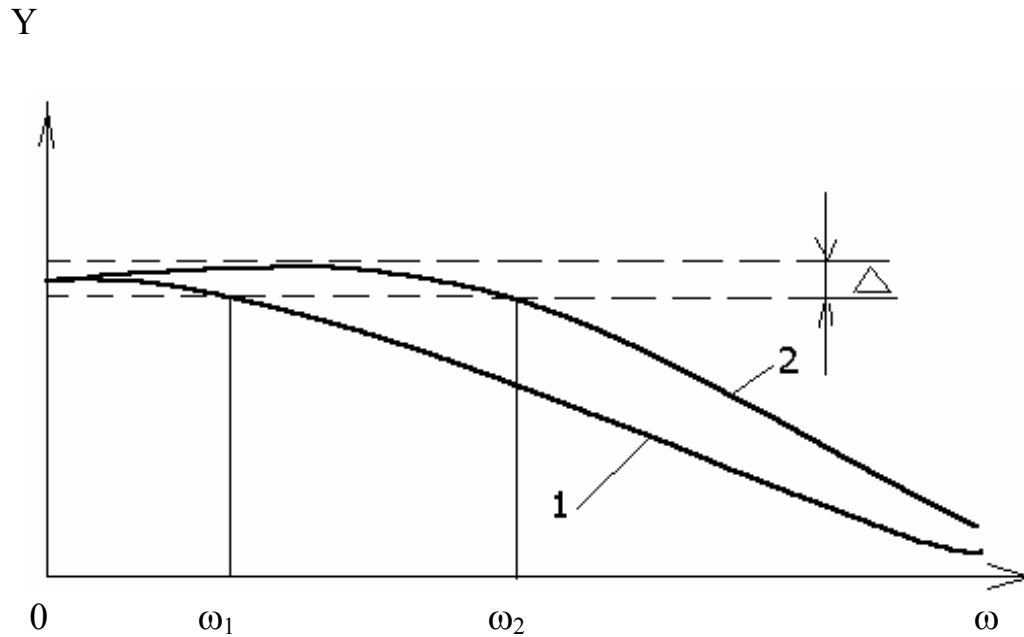


Рисунок 1 –Частотные характеристики электроизмерительных приборов

Как известно, отклонение рамки магнитоэлектрического прибора

$$J \frac{d^2 \alpha}{dt^2} + p \frac{d\alpha}{dt} + W\alpha - B_0 \omega Si, (1)$$

описывается уравнением

где α – угол отклонения рамки;

J - момент инерции подвижной системы;

B - индукция; ω - число витков;

S - площадь подвижной катушки;

i - ток; W - удельный противодействующий момент;

p - коэффициент успокоения (демпфирования).

Анализ уравнений (1) значительно упрощается, если привести его к безразмерному виду. Представим поворот подвижной системы

как отношение

$$y = \frac{\alpha}{\alpha_c}, \quad \text{где } \alpha_c = \frac{\omega B_0 S}{W} -$$

– конечный угол поворота рамки после успокоения. Приняв за независимую переменную не время t , а

$$\tau = \omega_0 t = \sqrt{\frac{W}{J}} t$$

и обозначив степень успокоения

$$\beta = \frac{p}{2\sqrt{JW}},$$

получим уравнение движения рамки гальванометра в безразмерной

$$\ddot{y} + 2\beta\dot{y} + y = 1. (2)$$

форме

Изменяя момент инерции подвижной системы J , удельный противодействующий момент W или коэффициент успокоения p , можно изменять частотную характеристику электроизмерительного прибора. Практически иногда необходимо расширить полосу пропускания уже существующего электроизмерительного прибора, у которого невозможно изменить параметры J , W , p . Эта задача может быть решена включением корректирующих звеньев, параметры которых можно подобрать путем моделирования. Методом моделирования можно: 1) определить

$$K_2(p) = \frac{1 + 2\beta p + p^2}{1 + ap + bp^2}, (3)$$

динамическую характеристику электроизмерительного прибора и выбрать для него степень успокоения; 2) выбрать параметры корректирующего

звена, которое может расширить полосу пропускания уже существующего электроизмерительного прибора.

Порядок выполнения работы

1. Включив машину и проверив после прогрева установку нулей

усилителя, подготовить машину к решению задач.

2. Составить схему набора уравнений движения рамки в безразмерной форме (2) при двух – трех значениях по указанию преподавателя ($\beta = 0,3$

$$K_1(p) = \frac{1}{1 + 2\beta p + p^2}.$$

– 2). Нетрудно заметить, что уравнение (2) соответствует уравнению колебательного звена с передаточной функцией

Схема набора такого звена приведена в таблице.

3. Снять частотную характеристику колебательного звена при заданных значениях β .

4. Найти $\omega_0 = \omega_{рез}$, $\omega_{рез}$ – резонансная частота).

5. Найти значение $\beta_{кр}$, при котором аperiodический процесс переходит в колебательный.

6. Составить модель корректирующей цепи, имеющий коэффициент передачи

где a, b – коэффициенты, определяющие динамические качества скорректированной системы.

$$K(p) = K_1(p)K_2(p) = \frac{1}{1 + ap + bp^2}.(4)$$

Передаточная функция двух соединенных последовательно звеньев равна произведению передаточных функций звеньев. Следовательно, результирующая передаточная функция будет иметь вид

Из уравнения (4) следует, что при соответствующем подборе параметров идеального корректирующего звена можно добиться

расширения полосы пропускания прибора. Схема для набора функции $K_2(p)$ аналогична схеме набора функции $K_1(p)$ с той разницей, что числитель функции $K_2(p)$ набирается в цепи обратной связи.

7. Подобрать такие значения параметров a и b в выражении для функции $K_2(p)$, при которых полоса пропускания скорректированной системы будет выше полосы пропускания измерительного прибора при заданном β без корректирующего устройства.

Содержание отчета

1. Схема набора уравнений (1) на электронной модели.
2. Частотные характеристики этого звена при заданных значениях β и значение $\omega_0 = \omega_{рез}$.
3. Схема набора корректирующего устройства.
4. Частотные характеристики скорректированного прибора при заданных значениях β и найденных при моделировании значениях коэффициентов a и b .
5. Значения коэффициентов a и b , при которых частота пропускания скорректированной системы будет больше полосы пропускания основной системы.

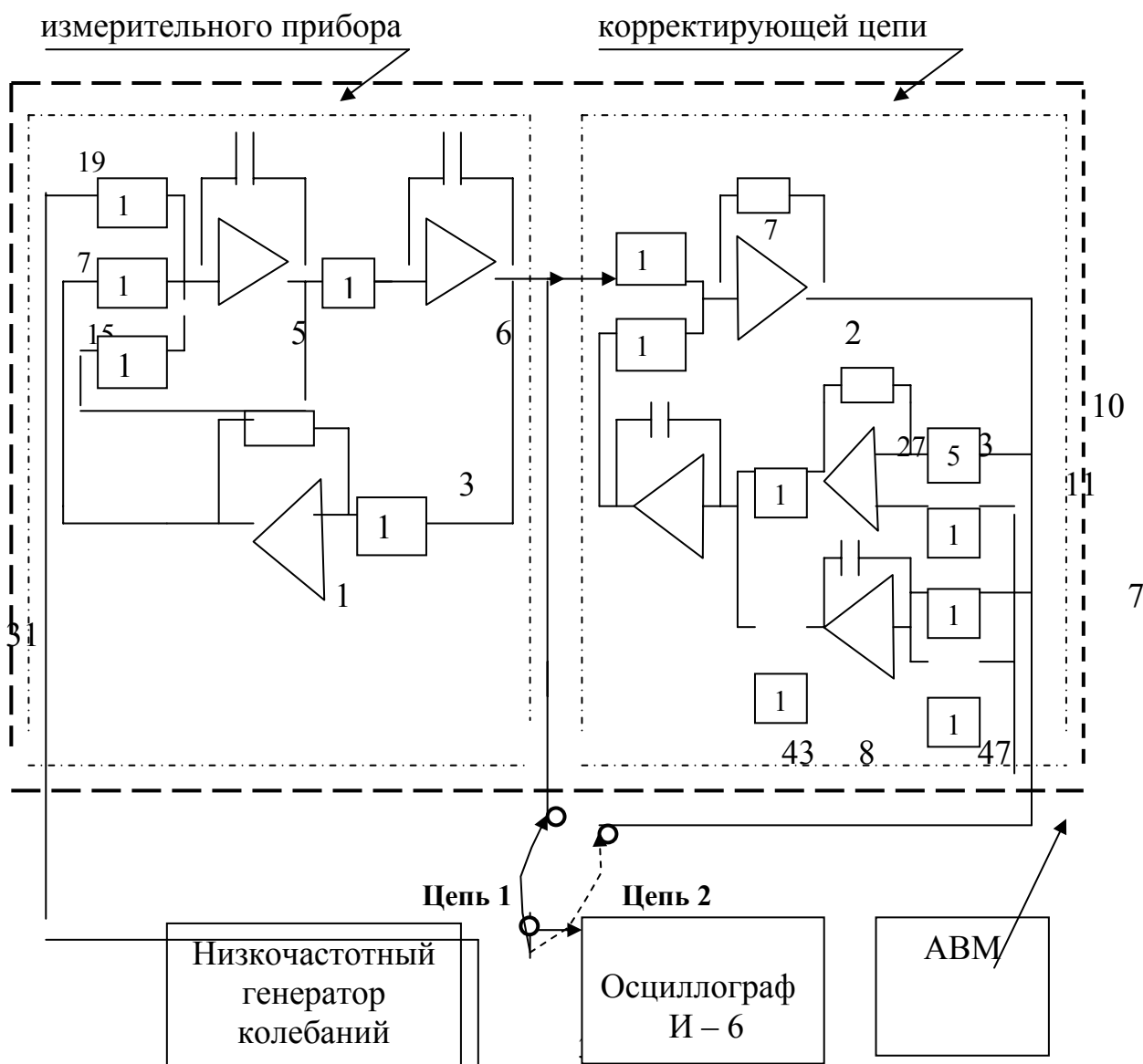
Контрольные вопросы

1. Что понимается под динамической разрешающей способностью электроизмерительного прибора?
2. Как определяется полоса пропускания электроизмерительного прибора?
3. За счет каких параметров электроизмерительного прибора можно изменять его частотную характеристику?
4. Возможности расширения полосы пропускания уже существующего электроизмерительного прибора?

5. Тип звена, которым описывается электроизмерительный прибор.
6. Что такое амплитудная и фазовая частотные характеристики?
7. Понятие резонансной частоты.
8. Нарисовать апериодический и колебательный процесс.
9. Чему равна передаточная функция при последовательном соединении элементов.
10. Влияние коэффициента демпфирования на характер переходного процесса.

Список использованных источников

1. Урмаев А.С. Основы моделирования на аналоговых вычислительных машинах. "Наука", М., 1978, 271 с.
2. Урмаев А.С. Практикум по моделированию на АВМ. "Наука", М., 1976, 192с.



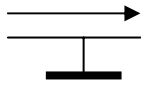


Рисунок 2– Схема экспериментальной установки

Лабораторная работа № 5

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ НА АНАЛОГОВОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАШИНЕ

Цель работы:

- Овладение структурным методом моделирования автоматических систем;
- Изучить методику составления схемы набора на АВМ;
- Проверить на устойчивость систему по переходному процессу и оценить его показатели качества управления;
- Оценить влияние коэффициента усиления разомкнутой системы на её устойчивость.

Содержание работы

Для исследования систем автоматического управления \САУ\ широко применяются аналоговые вычислительные машины \АВМ\.. Моделирование САУ на АВМ позволяет проводить анализ большого числа переходных процессов с целью выбора оптимальных параметров систем управления.

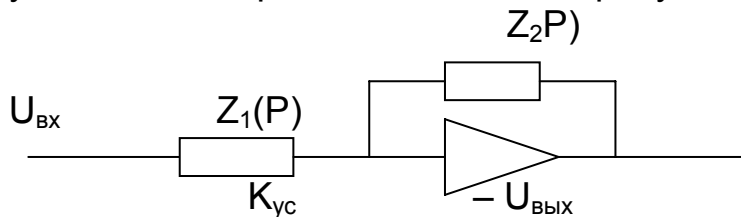
Следует, однако, подчеркнуть, что моделирование САУ целесообразно проводить в сочетании с аналитическим и графическим методами расчета. Без предварительного расчета

системы управления выбор наиболее выгодного варианта проводился бы вслепую без гарантии и доказательства того, что намеченный вариант является наилучшим. Кроме того, наличие предварительного расчета обеспечивает контроль правильной работы модели.

Принцип построения линейных моделей.

Математические операции, выполняемые операционными усилителями

Моделирование линейных систем основано на применении трех математических операций: интегрирования, суммирования и умножения на постоянный множитель. Каждая математическая операция реализуется так называемым операционным усилителем, представленным на рисунке 1.



Рисунок–1 Схема включения операционного усилителя

Операционный усилитель представляет собой усилитель постоянного тока с большим (порядка десятка тысяч) коэффициентом усиления и отрицательной обратной связью $Z_2(P)$, осуществляемой через резистор, конденсатор или индуктивность.

При большом значении коэффициента усиления $K_{ус}$ усилителя передаточная функция последнего имеет вид:

$$W(P) = U_{\text{вых}}(P) / U_{\text{вх}}(P) = Z_2(P) / Z_1(P),$$

где $Z_1(P)$ – комплексное входное сопротивление операционного усилителя;

$Z_2(P)$ – комплексное сопротивление обратной связи операционного усилителя.

Соответственно для активного сопротивления, индуктивности и емкости имеем

$$Z(P) = R, \quad Z(P) = LP, \quad Z(P) = 1/CP.$$

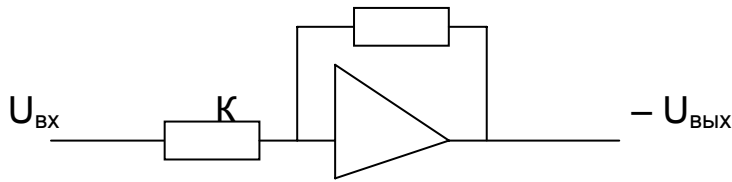
Для построения решающих блоков в большинстве АВМ получили применение только емкости и активные сопротивления.

В зависимости от вида сопротивлений $Z_1(P)$ и $Z_2(P)$ операционный усилитель может осуществлять следующие математические операции:

1. Если $Z_1(P) = R_1$ и $Z_2(P) = R_2$, то

$$U_{\text{вых}}(P) = -U_{\text{вх}}(P) * R_2 / R_1 \quad \text{или} \quad U_{\text{вых}}(P) = -K * U_{\text{вх}}(P),$$

(где R – сопротивление резистора) и усилитель выполняет операцию умножения входного сигнала на постоянный отрицательный множитель K (рис. 2).



Рисунок–2 Умножение входного сигнала на постоянный множитель

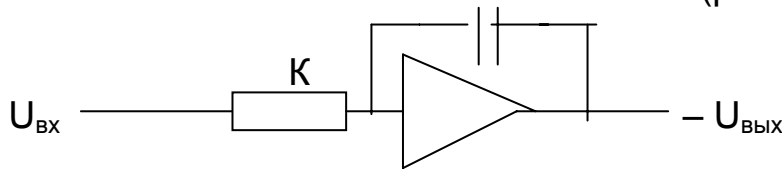
Если $Z_1(P) = Z_2(P) = R$, то $U_{ВЫХ}(p) = -U_{ВХ}(p)$ и осуществляется инвертирование входного сигнала.

2. Если $Z_1(P) = R$ и $Z_2(P) = 1 \setminus CP$, то

$$U_{ВЫХ}(P) = U_{ВХ} * 1 \setminus RC * P; \quad U_{ВЫХ}(P) = -U_{ВХ}(P) * K \setminus P,$$

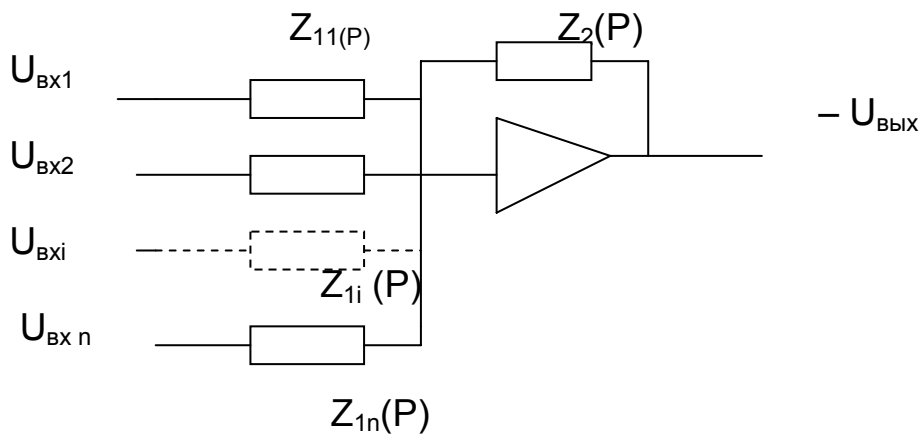
где $K = 1 \setminus RC$; C – емкость конденсатора.

Таким образом, усилитель выполняет операцию интегрирования входного сигнала с одновременным умножением на постоянный множитель K (рис. 3).



Рисунок–3 Выполнение операции интегрирования

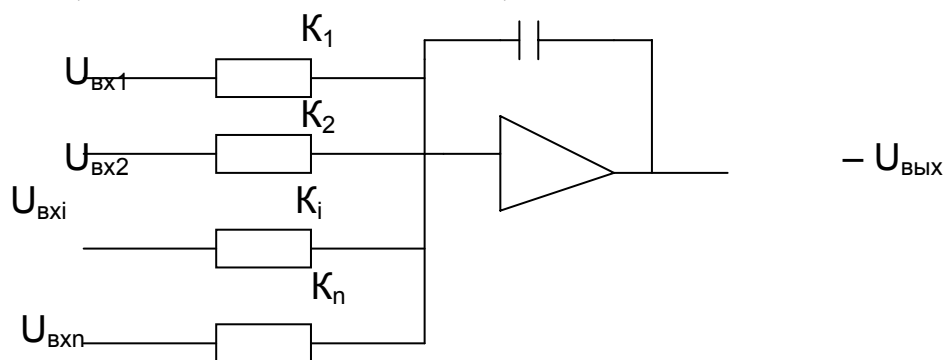
3. На рисунке 4 изображен суммирующий усилитель.



Рисунок–4 Суммирующий усилитель

При $Z_2(P) = 1 \setminus CP$, $Z_{1i}(P) = R_{1i}$ усилитель выполняет операцию суммирования входных сигналов с одновременным интегрированием (рис.5).

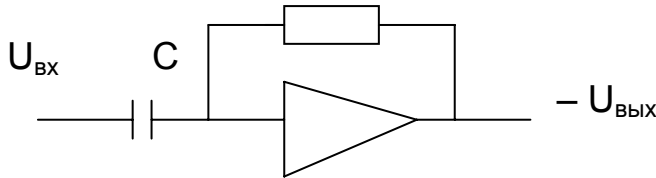
$$U_{ВЫХ}(P) = - \sum_{i=1}^n U_{ВХi}(P) * 1 \setminus CPR_{1i} = - \sum_{i=1}^n U_{ВХi}(P) * K_i \setminus P.$$



Рисунок–5 Суммирование и интегрирование входного сигнала

4. Если $Z_1(P) = 1 \setminus CP$, $Z_2(P) = R$,
то $U_{\text{ВЫХ}}(P) = - RCP \cdot U_{\text{ВХ}}(P) = - KP \cdot U_{\text{ВХ}}(P)$.

Усилитель играет роль дифференцирующего звена (рис 6).



Рисунок–6 Дифференцирование входного сигнала

При моделировании по возможности избегают применения дифференцирующих усилителей вследствие их повышенной чувствительности к внешним и внутренним помехам.

Подготовка системы управления для анализа (синтеза) на АВМ

Система управления, подлежащая исследованию, может быть задана несколькими способами:

- структурной схемой, состоящей из типовых звеньев с известными передаточными функциями;
- структурной схемой, часть звеньев которой не является типовыми;
- системой дифференциальных уравнений различных порядков;
- одним дифференциальным уравнением n - порядка или передаточной функцией системы.

Подготовка к исследованию САУ на АВМ заключается в составлении схемы набора на АВМ, выбора масштаба времени и расчете коэффициентов передачи операционных усилителей. Поскольку в большинстве случаев САУ задается в виде структурной схемы с типовыми звеньями, то основным методом моделирования систем управления считается так называемый структурный метод.

Целью настоящей работы является овладение структурным методом моделирования автоматических систем.

Этот метод заключается в том, что схема модели системы получается путем замены типовых звеньев структурной схемы их машинными эквивалентами, взятыми из таблицы, в которой представлены наиболее часто встречающиеся звенья.

После этого выбираются масштаб времени и производится расчет коэффициентов передачи операционных усилителей по всем входам.

Масштаб времени m_t производит преобразование натурального времени t в машинное $t_{\text{маш}}$ по формуле $t_{\text{маш}} = m_t * t$.

Выбирая m_t , можно либо ускорить, либо замедлить протекание динамических процессов в электронной модели исследуемой системы.

Выбор может быть выполнен несколькими способами. Однако цель всех способов одна – сделать динамический процесс удобным для наблюдения и регистрации (рекомендуется $t_{\text{маш}} = 10 \dots 30$ с.) и не превышающим по длительности технических возможностей АВМ (не более 100с для МН-7). Наиболее часто m_t выбирают одним из двух способов:

по формуле $m_t = 2,5 * \omega_{\text{ср}}$, где $\omega_{\text{ср}}$ - частота среза ЛАЧХ разомкнутой системы при устойчивой замкнутой системы;

по предполагаемой из физических соображений длительности переходного процесса $t_{\text{рег}}$ исследуемой системы. Например, если $t_{\text{рег}}$ предполагается равным 0,01с, то чтобы получить $t_{\text{маш}}$ порядка 20с, следует выбрать $m_t = 20\text{с} \setminus 0,01\text{с} = 2000$.

Коэффициент передачи операционных усилителей рассчитываются по формулам, приведенным в таблице. Согласно техническим условиям на АВМ МН- 7 они должны находится в пределах $0,02 < K < 10$.

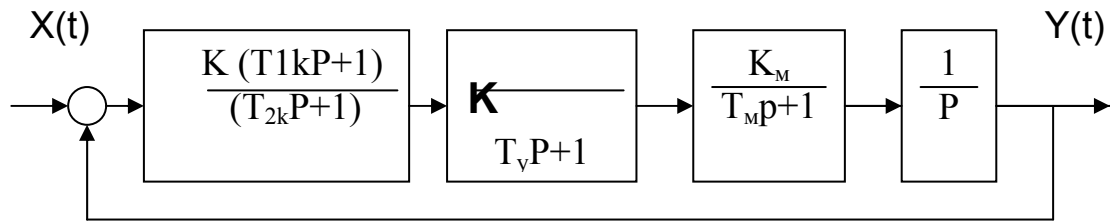
В случае, когда один или несколько коэффициентов выходят за указанные пределы, следует произвести структурные преобразования схемы набора по соответствующим правилам таблицы.

Эти преобразования следует производить таким образом, чтобы регулируемая переменная не изменилась. Рекомендуется преобразования схемы набора контролировать соответствующими преобразованиями исходной схемы.

В том случае, когда в допустимый диапазон не входит один или несколько коэффициентов, стоящих в обратных связях апериодических, колебательных и других звеньев, изменение величин этих коэффициентов допускается только за счет изменения m_t .

После окончания преобразований схемы набора выбираются и проставляются номера усилителей и входных сопротивлений. При этом рекомендуется в обратных связях интегрирующих усилителей применять резисторы величиной в 1 МОм. Тогда для установки коэффициентов $K < 1$ необходимо брать потенциометры с надписью 1М (их номера – 4, 8, 12, 16, 20 и т.д.), а для установки коэффициентов $K > 1$ - потенциометры с надписью 0,1М (их номера – 2, 6, 10, 14, 18, и т. д.).

Рассмотрим пример составления схемы набора. Пусть исходная САУ задана структурной схемой (рис. 7).



Рисунок–7 Структурная схема исходной САУ

Численные значения параметров:

$K=5$, $K_y = 3$, $K_m = 2$, $T_{1k} = 1$ с, $T_{2k} = 10$ с, $T_y = 0,02$ с, $T_m = 0,1$ с, $\omega_{cp.} = 3,1$.

Выбираем масштаб времени по формуле $m_t = 2,5 * \omega_{cp} = 2,5 * 3,1 = 8$.

Округляя (для удобства пересчета $t_{маш}$ в натуральное время t), примем $m_t=10$. Пользуясь таблицей с учетом соотношения $T_{1k} < T_{2k}$, составляем схему набора (рис. 8).

Коэффициенты передачи операционных усилителей, вычисленные по формулам таблицы равны:

$K_1 = 0,5$; $K_3 = 0,1$; $K_2 * K_4 = K_3 = 1 \setminus m_t * T_{2k} = 0,1 - 1 \setminus 10 * 10 = 0,09$,
 $K_5 = 15$, $K_6 = 5$, $K_7 = 2$, $K_8 = 1$, $K_9 = 0,1$.

Коэффициенты K_2 и K_4 можно выбрать произвольными, но так, чтобы их произведение равнялось 0,09.

Пусть $K_2 = 0,09$, тогда K_4 должно быть равно 1. Все коэффициенты, кроме K_5 , входят в диапазон модели. Согласно правилам структурных преобразований коэффициенты передач последовательно соединенных звеньев можно перераспределить между звеньями произвольно. На этом основании коэффициент K_y , от которого зависит K_5 , можно перенести по ходу сигнала и приписать звену $1 \setminus p$. Тогда

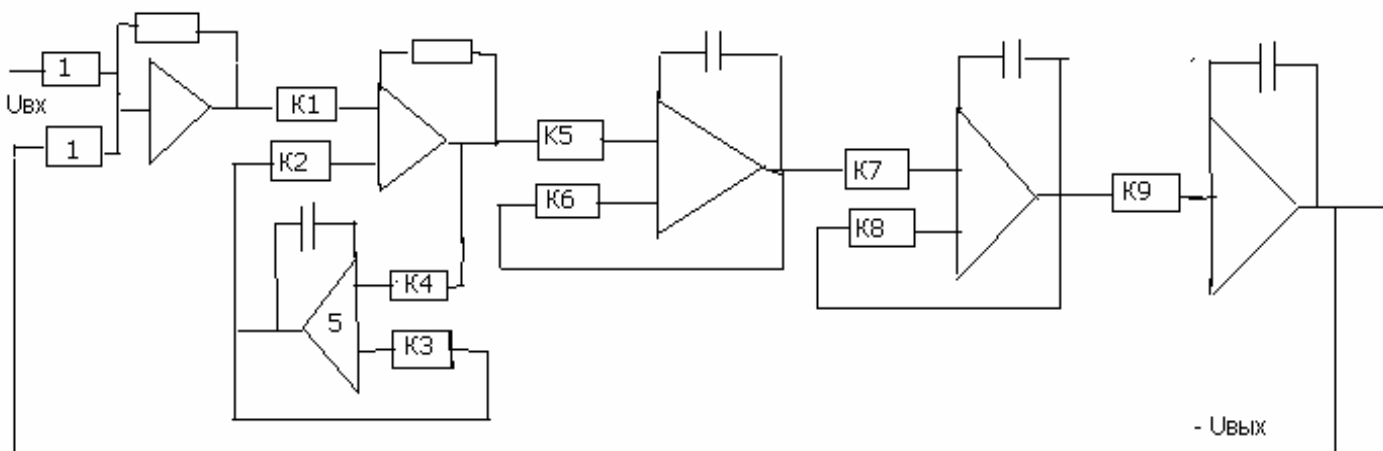


Рис . 8

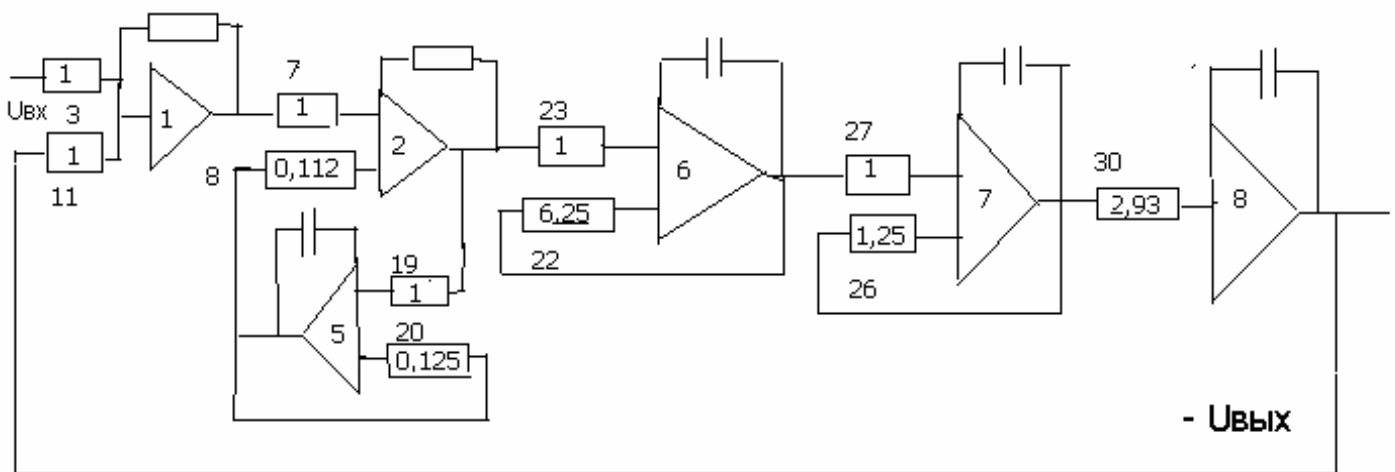


Рис. 9

получим $K_5 = 5$, $K_y = 0,3$. Выбрав номер усилителей и входных сопротивлений, получим окончательную схему набора. Для удобства набора на модели численные значения коэффициентов записываются непосредственно на схеме, номера входных потенциометров записываются рядом с потенциометрами. На рис. 9 представлена преобразованная схема набора, готовая для исследования на модели.

В заключение отметим основные достоинства структурного метода по сравнению с обычным методом понижения порядка производной, используемым при решении систем дифференциальных уравнений:

- составление схемы набора выполняется с использованием готовых схем набора типовых звеньев;
- метод обладает наглядностью, так как функциональные связи операционных блоков полностью эквивалентны функциональным связям типовых звеньев в исходной схеме. Это дает возможность быстро варьировать требуемые коэффициенты, включать в схемы дополнительные звенья (корректируемые цепи) и исследовать поведение любых промежуточных переменных.

Порядок выполнения работы

1. Включить блок питания расположенным на нем тумблером сеть 220 В. На панели управления МН – 7 включить тумблер "-26В". Тумблеры "Уст. нуля – работа", "Подготовка – работа" и "Отметчик" выключить.
2. Тумблер "Однокр. – повтор." поставить в положение "Однокр." на все время исследования.
3. Произвести набор схемы согласно рис. 9 с использованием коммутационных шнуров.
4. Установить нули усилителей АВМ МН – 7 \ 1 \.

5. Произвести установку коэффициентов операционных усилителей \ 2 \.

После установки коэффициентов тумблеры "Подготовка – работа" и "220" на панели управления поставить в верхнее положение.

Задание

1. Проверить устойчивость системы.

Проверка устойчивости системы

Внешние воздействия должны быть равны нулю.

Соединить шнуром "Выходы" усилителя, выходом которого является регулируемая переменная $U_{\text{вых}}(t)$ (см. рис. 9, п.8) с вольтметром "+ V_1 ".

Нажать кнопку "Пуск".

Если система устойчива, то показания вольтметра в течение 10-20с будут равны нулю. Если система неустойчива, то показания вольтметра после нажатия кнопки "Пуск" будут нарастать.

Замечание. Если заранее известно, что система устойчива, а показания " V_1 " не равны нулю, то это указывает на неправильность набора схемы системы.

Нажать кнопку "Исх. полож".

По окончании проверки на устойчивость системы снять переходной процесс.

2. Снять переходный процесс по точкам с шагом 1с.

3. Оценить влияние коэффициента усиления разомкнутой системы на устойчивость по переходному процессу.

4. Отобразить фазовый портрет на экране осциллографа. Для этого выходной сигнал системы (усилитель №8) соединить с гнездом «Г» индикатора «ИЭЛ», а его производную (усилитель № 7) с гнездом «В». На осциллографе переключатель «Время развертки в сек» поставить в положение «Откл». Выставить начальные условия по производной (усилитель №7) $U(0) = 50$ В. Разомкнуть входное воздействие ($U_{\text{вх}} = 0$). Нажать кнопку «Пуск». Потенциометрами осциллографа «Масштаб X» и «Масштаб Y» добиться изображения фазового портрета на весь экран.

Содержание отчета

1. Структурная схема системы.

2. Схема набора на машине.

5. Результаты расчета.

Контрольные вопросы

1. Чем вызвана необходимость использования АВМ при анализе САУ?

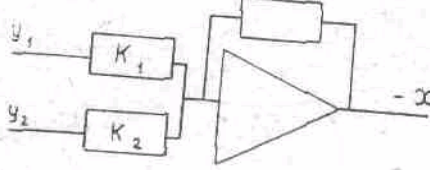
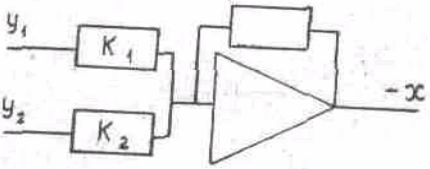
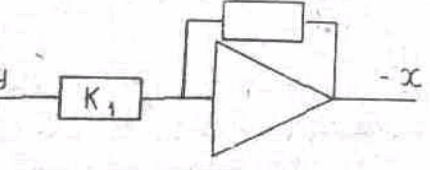
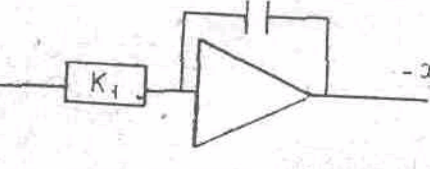
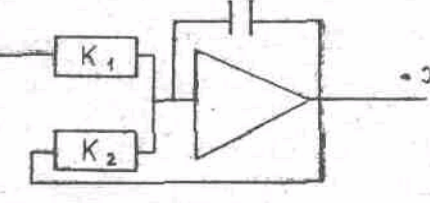
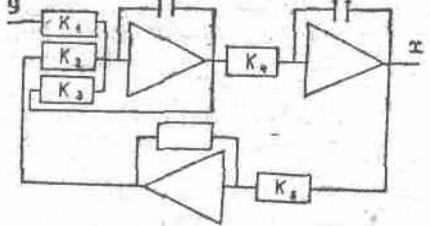
2. Какие математические операции выполняют операционные усилители?
3. Что представляет собой операционный усилитель?
4. Как реализуются на АВМ такие математические операции, как умножение на постоянный множитель, суммирование, интегрирование?
5. Выполнение операции суммирования входных сигналов с одновременным интегрированием.
6. Формы представления САУ для анализа (синтеза) на АВМ.
7. В чем заключается подготовка к исследованию САУ на АВМ?
8. Суть структурного метода моделирования автоматических систем.
9. Для чего необходим масштаб времени и как его осуществляется выбор?
10. Как выбираются коэффициенты передач операционных усилителей?
11. Основные достоинства структурного метода исследования САУ по сравнению с обычными методами.
12. Что такое переходной процесс?
13. Как проверить устойчивость системы?
14. Влияние коэффициента усиления разомкнутой системы на устойчивость САУ.

Список использованных источников

1. Урмаев А.С. Основы моделирования на аналоговых вычислительных машинах, Учебное пособие – М.: Наука, , 1978, –270 с.
2. Урмаев А.С. Практикум по моделированию на АВМ, Учебное пособие - М., Наука, 1976, 192с.

Приложение 1

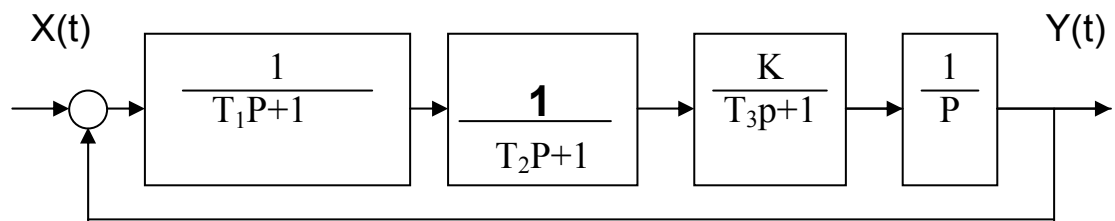
Набор элементов структурной схемы и передаточных функций типовых элементов

№ пп.	Передаточная функция	Схема набора	Расчет коэффициентов набора по коэффициентам передаточных функций
1	$x = y_1 + y_2$		$k_1 = k_2 = 1$
2	$x = y_1 - y_2$		$k_1 = k_2 = 1$
3	$W(p) = \frac{X(p)}{Y(p)} = k$		$k_1 = k$
4	$W(p) = \frac{X(p)}{Y(p)} = \frac{k}{p}$		$k_1 = \frac{k}{m_t}$
5	$W(p) = \frac{X(p)}{Y(p)} = \frac{k}{Tp + 1}$		$k_1 = \frac{k}{m_t T}$ $k_2 = \frac{1}{m_t T}$
6	$W(p) = \frac{X(p)}{Y(p)} = \frac{k}{T^2 p^2 + 2cTp + 1}$		$k_1 = \frac{k}{m_t^2 T^2}$ $k_2 k_3 = \frac{1}{m_t^2 T^2}$ $k_4 = \frac{2c}{m_t T}$ $k_5 = 1$

№ пп.	Передачная функция	Схема набора	Расчет коэффициентов набора по коэффициентам передаточных функций
7	$W(p) = \frac{X(p)}{Y(p)} = \frac{kp}{Tp+1}$		$k_1 = \frac{k}{T}$ $k_2 k_3 k_4 = \frac{1}{m_t T}$
8	$W(p) = \frac{X(p)}{Y(p)} = k \frac{T_1 p + 1}{T_2 p + 1}$ <p>$T_1 < T_2$</p>		$k_1 = k \frac{T_1}{T_2}$ $k_2 = \frac{1}{m_t T_1}$ $k_3 k_4 = k_5 = \frac{1}{m_t T_2}$
9	$W(p) = \frac{X(p)}{Y(p)} = k \frac{T_1 p + 1}{T_2 p + 1}$ <p>$T_1 > T_2$</p>		$k_1 = \frac{k T_1}{T_2}$ $k_2 = \frac{1}{m_t T_1}$ $k_3 k_4 k_5 = \frac{1}{m_t T_2} = k_5$
10	$W(p) = \frac{X(p)}{Y(p)} = k \frac{Tp+1}{p} = kT + \frac{k}{p}$		$k_1 k_3 = kT$ $k_2 k_4 = \frac{k}{m_t}$
11	$W(p) = \frac{X(p)}{Y(p)} = \frac{p}{T^2 p^2 + 2cT p + 1}$		$k_1 = \frac{k}{T^2 m_t}$ $k_2 = \frac{2c}{T^2 m_t}$ $k_3 k_4 k_5 = \frac{1}{T^2 m_t^2}$

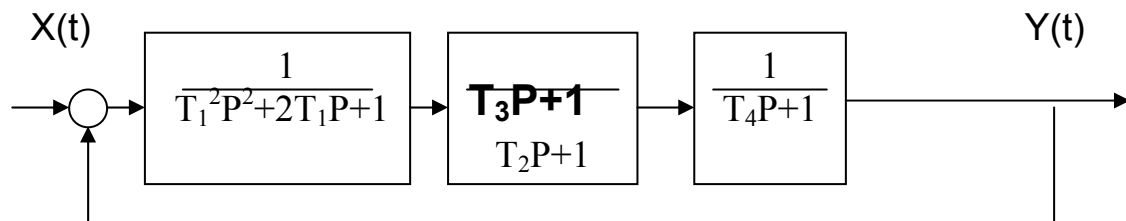
ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

В а р и а н т № 1



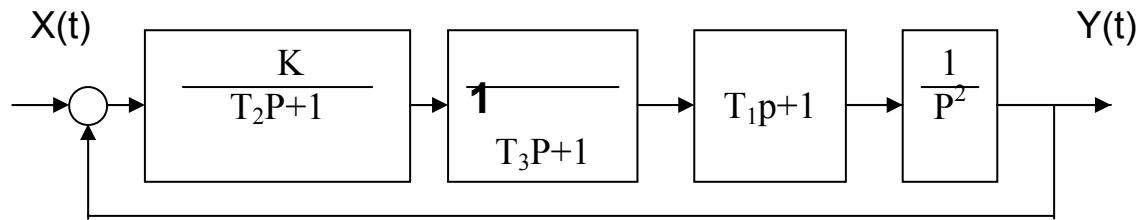
№ варианта	коэффициенты				
	K	T ₁	T ₂	T ₃	t _p , с
1 – 1	100	0,1	0,03	0.006	0,15
1 – 2	85	0,1	0,02	0,005	
1 – 3	125	0,1	0,025	0,004	
1 – 4	150	0,2	0,03	0,006	
1 – 5	70	0,15	0.035	0,006	
1 – 6	90	0,15	0,03	0,0045	

В а р и а н т № 2



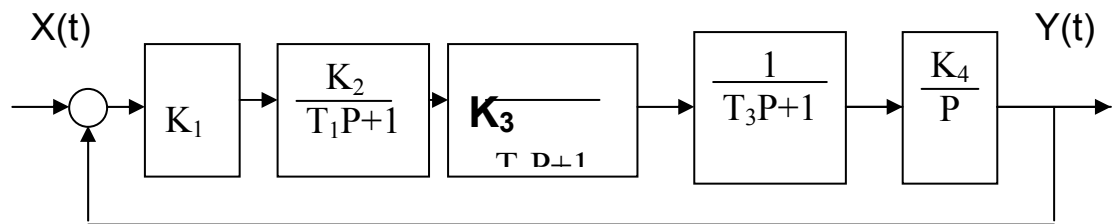
№ вариант а	коэффициенты					
	K	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	t _p , с
2 – 1	5	0,1	0,05	0.03	0,006	0,15
2 – 2	6	0,1	0,08	0,04	0,007	
2 – 3	4,8	0,2	0,06	0,05	0,005	
2 – 4	7	0,15	0,065	0,03	0,006	
2 – 5	6,5	0,05	0.05	0,04	0,006	
2 – 6	4,5	0,12	0,8	0,06	0,006	

Вариант № 3



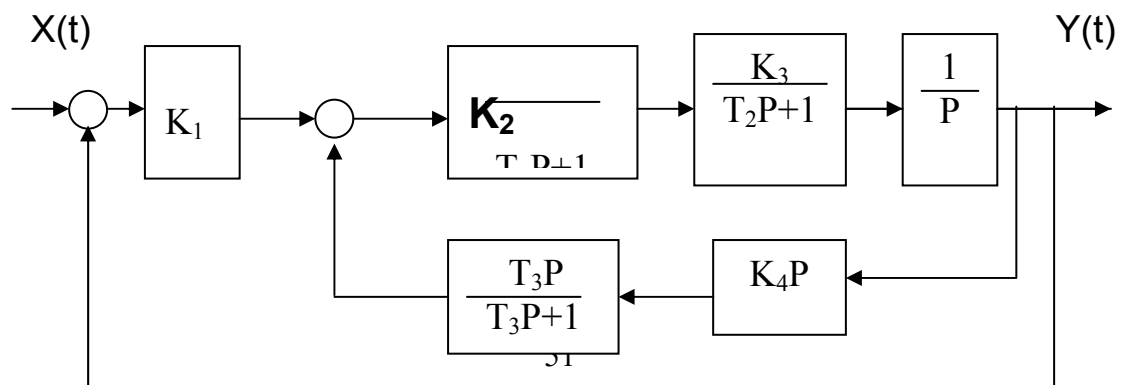
№ варианта	коэффициенты				t _p , с
	K	T ₁	T ₂	T ₃	
3 – 1	100	0,16	0,024	0.008	0,45
3 – 2	96	0,1	0,024	0,007	
3 – 3	100	0,15	0,02	0,0075	
3 – 4	90	0,12	0,02	0,0085	
3 – 5	110	0,18	0.022	0,007	
3 – 6	95	0,16	0,022	0,008	

Вариант № 4



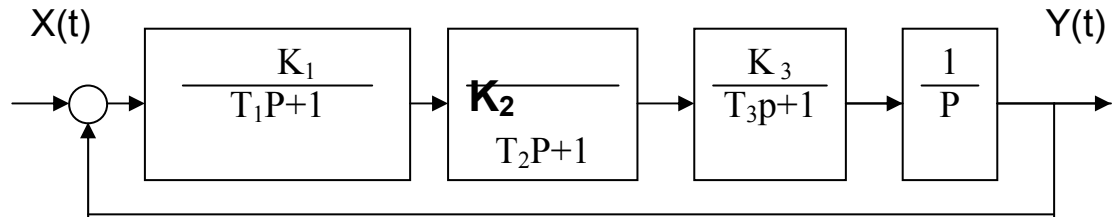
№ варианта	коэффициенты							t _p ,с
	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	T ₁	T ₂	T ₃	
4 – 1	0,8	12	2,8	0,1	0,1	0,7	1,2	4,0
4 – 2	0,6	11	2,5	0,12	0,08	0,6	1,1	
4 – 3	0,65	10	2,3	0,11	0,09	0,75	1,25	
4 – 4	0,7	9	2,4	0,09	0,085	0,65	1,3	
4 – 5	0,9	8	2,6	0,08	0,09	0,6	1,1	
4 – 6	0,85	7	2,8	0,1	0,1	0,75	1,0	

Вариант № 5



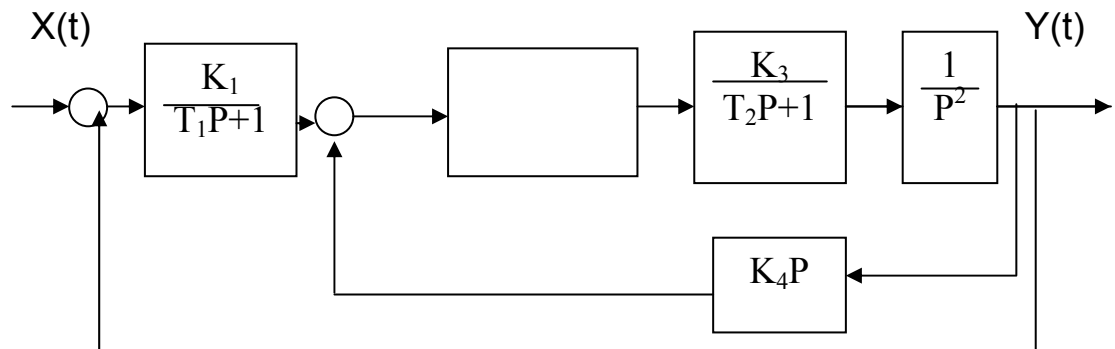
№ варианта	коэффициенты							t_p, c
	K_1	K_2	K_3	K_4	T_1	T_2	T_3	
5 – 1	0,87	100	0,57	0,35	0,12	0,25	0,5	4,0
5 – 2	0,87	90	0,57	0,3	0,12	0,3	0,1	
5 – 3	0,8	100	0,6	0,4	0,1	0,2	0,4	
5 – 4	0,7	80	0,65	0,3	0,15	0,25	0,3	
5 – 5	0,9	70	0,5	0,45	0,15	0,25	0,2	
5 – 6	0,8	120	0,7	0,4	0,1	0,3	0,25	

Вариант № 6



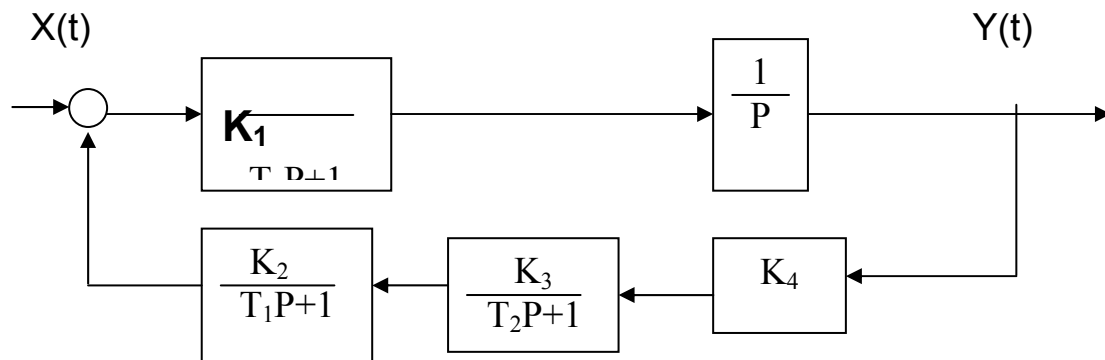
№ варианта	коэффициенты							t_p, c
	K_1	K_2	K_3	K_4	T_1	T_2	T_3	
6 – 1	50	80	0,006		0,01	0,04	0,03	0,34
6 – 2	40	90	0,007		0,01	0,006	0,002	
6 – 3	60	70	0,01		0,01	0,02	0,06	
6 – 4	90	30	0,008		0,01	0,05	0,06	
6 – 5	80	50	0,0075		0,01	0,03	0,03	
6 – 6	70	80	0,006		0,01	0,01	0,04	

Вариант № 7



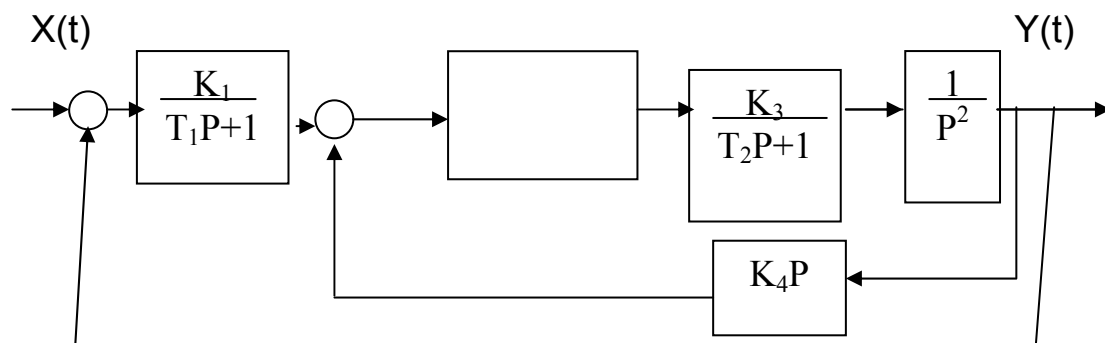
№ вариант а	коэффициенты						t_p, c
	K_1	K_2	K_3	K_4	T_1	T_2	
7 – 1	50	800	0,006	0,1	0,01	0,04	
7 – 2	50	800	0,006	0,8	0,01	0,03	
7 – 3	80	400	0,006	1,5	0,01	0,02	
7 – 4	80	400	0,038	0,9	0,01	0,035	
7 – 5	50	800	0,038	1,1	0,01	0,04	
7 – 6	50	800	0,005	1,1	0,01	0,045	

Вариант № 8



вариант	коэффициенты							t _p ,с
	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	T ₁	T ₂	T ₃	
8 – 1	0,87	100	0,57	0,35	0,12	0,25	0,5	4,0
8 – 2	0,87	90	0,57	0,3	0,12	0,3	0,1	
8 – 3	0,8	100	0,6	0,4	0,1	0,2	0,4	
8 – 4	0,7	80	0,65	0,3	0,15	0,25	0,3	
8 – 5	0,9	70	0,5	0,45	0,15	0,25	0,2	
8 – 6	0,8	120	0,7	0,4	0,1	0,3	0,25	

Вариант № 9



№ варианта	коэффициенты								t _p ,с
	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	
9 – 1	0,8	100	0,5	0,35	0,12	0,25	0,3	0,05	1,15
9 – 2	0,9	90	0,6	0,3	0,1	0,2	0,3	0,05	
9 – 3	0,5	80	0,7	0,3	0,14	0,2	0,4	0,05	
9 – 4	0,7	90	0,8	0,4	0,15	0,35	0,5	0,05	
9 – 5	0,6	85	0,9	0,4	0,1	0,3	0,2	0,05	
9 – 6	0,5	100	1,0	0,5	0,2	0,3	0,4	0,05	

Анализ устойчивости систем автоматического управления

Цель работы:

- изучить методику оценки устойчивости систем;
- оценить влияние коэффициента усиления разомкнутой системы на устойчивость.

Общие сведения

Всякая система автоматического управления должна быть прежде устойчивой. В противном случае она будет не работоспособной. Система будет устойчивой, если после прекращения действий возмущающих сил, система стремится вернуться к исходному заданному положению. Устойчивость проще всего оценить по корням характеристического уравнения системы

$$a_n \cdot p^n + a_{n-1} \cdot p^{n-1} + \dots + a_1 \cdot p + a_0 = 0.$$

Для устойчивости системы необходимо и достаточно, чтобы корни этого характеристического уравнения имели отрицательную вещественную часть, или же вещественная часть комплексно-сопряженного корня $\alpha_i < 0$. Определение устойчивости по корням характеристического уравнения для третьего и четвертого порядка затруднительно, а для пятого и более высокого порядка уравнений аналитически не решается. Для определения устойчивости есть так называемые критерии устойчивости, которые позволяют, не решая характеристического уравнения, определить устойчивость. Эти критерии определяют знак корней характеристического уравнения, не вычисляя их численного значения. Положительные корни указывают на неустойчивость системы, а отрицательные — на устойчивость.

Все критерии устойчивости делятся на алгебраические и частотные. К алгебраическим критериям относятся критерии Гурвица, Рауса, Вышнеградского и др. К частотным критериям

относятся критерии Михайлова, Найквиста и частотные критерии, основанные на логарифмических частотных характеристиках.

По критерию Гурвица устойчивость определяется следующим образом.

Для того чтобы корни характеристического уравнения

$$a_0 \cdot p^n + a_1 \cdot p^{n-1} + \dots + a_{n-1} \cdot p + a_n = 0$$

имели отрицательную вещественную часть, а система была устойчивой, необходимо и достаточно, чтобы при $a_0 > 0$ диагональные определители таблиц, составленных из коэффициентов уравнения (1), были больше нуля.

$$\begin{bmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & a_n \end{bmatrix}$$

$$a_0 > 0$$

$$\Delta_1 > 0, \Delta_2 > 0, \Delta_3 > 0, \Delta_n > 0$$

– диагональные определители

Условие

устойчивости

Правило составления таблицы:

1. По главной диагонали записываются коэффициенты с нарастающими индексами, начиная с a_1 .
2. Каждый из столбцов заполняется вверх коэффициентами с нарастающими индексами, вниз — с убывающими индексами.
3. На место отсутствующих коэффициентов проставляются нули.

Порядок выполнения работы

1. Используя возможности вычислительной среды SIAM, набрать структурную схему, показанную на рисунке.

2. Построить логарифмическую частотную характеристику.

Для этого после набора структурной схемы нажать клавишу F9. Блоки получают наименование А и В. В правом нижнем углу набрать:

$$MO=A*B, \quad L=MO.$$

Нажать "Enter". Для укрупнения графика нажать F3.

3. Оценить влияние коэффициента усиления разомкнутой системы на устойчивость по переходной функции.

Для получения переходной функции выйти из режима ЛЧХ и нажать клавишу F2 и выбрать метод интегрирования и время интегрирования. Нажать клавишу F3 и после окончания интегрирования нажать клавишу F6. Перевести засветку на выходной блок и нажать "Enter". На экране появится переходная функция. Увеличить (уменьшить) общий коэффициент усиления системы в одном из блоков структурной схемы. Вновь получить переходную функцию. За счет изменения коэффициента усиления добиться как расходящегося, так и сходящегося переходных функций. По этим функциям сделать вывод о влиянии коэффициента усиления на устойчивость системы.

Лабораторная работа № 7

Качество процессов управления и коррекция САУ

Общие сведения

Свойство устойчивости является необходимым условием работоспособности всякой системы автоматического управления. Однако этого качества недостаточно. В зависимости от технических требований, предъявляемых к проектируемой системе, характер процессов изменения регулируемой координаты во времени и другие её динамические характеристики должны удовлетворять заданному набору показателей качества. Основные показатели качества представлены на примере переходной функции, представленной на рисунках 1, 2 и характеризующей отработку системой единичного ступенчатого воздействия 1[1].

Λ – допустимое отклонение. Оно характеризует величину допустимого относительного отклонения регулируемой координаты в установившемся режиме относительно заданного значения. Часто эта величина принимается равной $\pm 5\%$.

Статическая погрешность. Это погрешность, которая характеризует относительную разность между действительным и требуемым значением регулируемой координаты в установившемся режиме. Системы, не обладающие статической ошибкой, называются астатическими.

t_p – время регулирования – промежуток времени между моментом приложения ступенчатого воздействия и моментом времени, начиная с которого, отклонение регулируемой координаты от требуемого значения остается в пределах $\pm 5\%$.

σ – максимальное перерегуливание.

Цель работы

1. Ознакомится с показателями качества переходного процесса;
2. Изучить методику коррекции САУ за счет:
 - изменения коэффициента усиления разомкнутой системы;
 - введения последовательного корректирующего устройства;
 - введения параллельного корректирующего устройства.

Содержание работы

Качество переходного процесса САУ определяется основными качественными показателями, такими как характер переходного процесса (монотонный-1, колебательный-2), быстродействие системы t_p максимальное перерегуливание σ по отношению к установившемуся значению, число перерегулирований, период колебаний T и др. (рисунок 1,2).

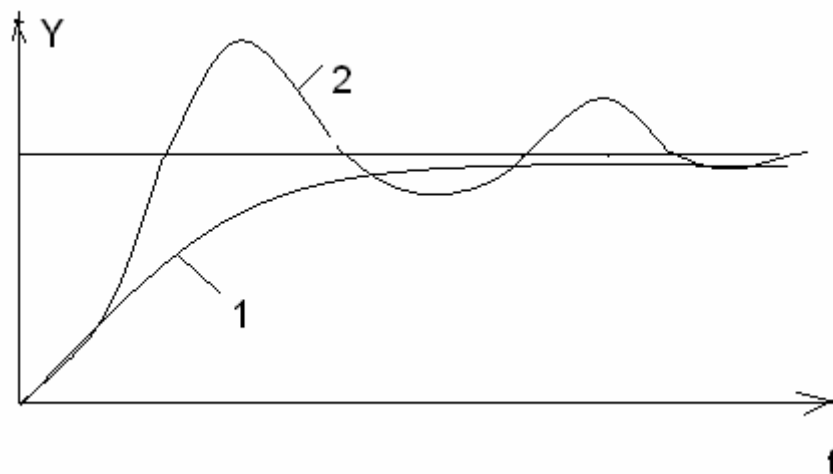


Рисунок 1– Характер переходного процесса

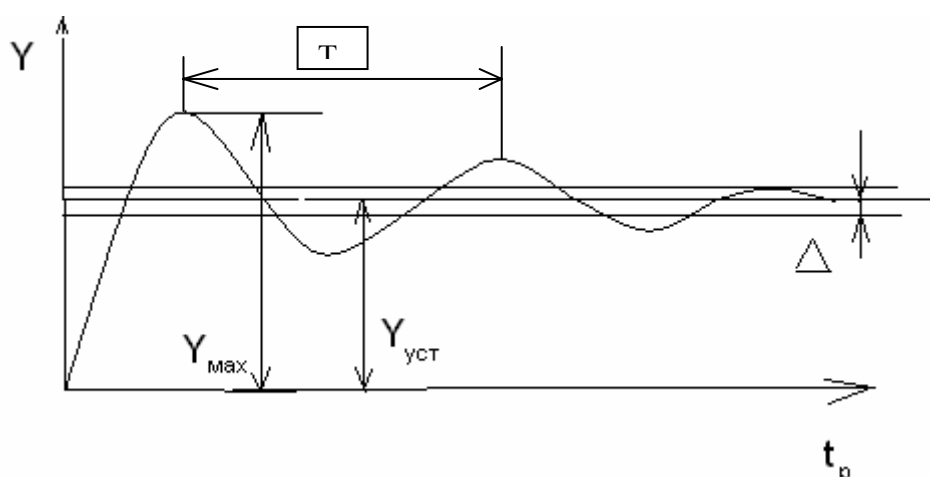


Рисунок 2 – Качественные показатели переходного процесса

Максимальное перерегулирование σ определяется как

$$\sigma = \frac{\Delta y}{Y_{уст}} 100\% = \frac{Y_{\max} - Y_{уст}}{Y_{уст}} 100\%.$$

Для определения качественных показателей могут использоваться различные методы. Аналитическое решение дифференциального уравнения САУ дает полную информацию о переходном процессе, но для систем высокого порядка такое решение неприменимо. Анализ качества по распределению корней характеристического уравнения (границ их расположения), выполняется сравнительно просто для систем любого порядка, но позволяет оценить лишь максимальную частоту колебаний и быстродействие системы. Методы анализа, основанные на использовании вещественной частотной характеристики САУ, широко использовались в инженерной практике, когда не было вычислительной техники. Эти методы были единственными, позволяющие построить график переходного процесса системы высокого порядка. В настоящее время при наличии цифровой и аналоговой вычислительной техники эти методы применяются редко. Для сравнения качества различных вариантов САУ могут использоваться интегральные оценки качества. Для монотонных переходных процессов существует линейная интегральная оценка качества I_1 , для колебательных – квадратичная интегральная оценка I_2

$$I_1 = \int_0^{\infty} [x(t) - y(t)] dt,$$

$$I_2 = \int_0^{\infty} [x(t) - y(t)]^2 dt.$$

С увеличением интегральной оценки качество работы системы ухудшается. Введение интегральной оценки качества позволяет формализовать задачу выбора оптимального варианта САУ и использовать вычислительную технику. В инженерной практике большое применение находит анализ качества переходного процесса по логарифмической амплитудно - частотной характеристике разомкнутой системы. С помощью специальных номограмм по ЛАЧХ можно определить все основные качественные показатели (время регулирования, перерегулирование, частоту), характер переходного процесса и др. Быстродействие системы может быть оценено по частоте среза $t_p = 2\pi/\omega_{ср}$, характер переходного процесса – по углам наклона ЛАЧХ при частотах, меньше $\omega_{ср}$.

В тех случаях, когда исследуемая система не обеспечивает заданных качественных показателей, выполняется коррекция системы. Коррекция заключается в изменении параметров системы, введении дополнительных корректирующих звеньев с целью

обеспечения заданного качества. Коррекция может выполняться за счет изменения коэффициента усиления разомкнутой системы, введение последовательных корректирующих звеньев, введение дополнительных обратных связей. После предварительного выбора параметров коррекции по ЛАЧХ производится их уточнение с использованием ПВМ или АВМ. Применение АВМ позволяет сравнительно быстро подобрать оптимальные параметры коррекции путем перебора ряда значений, найденных по ЛАЧХ. Окончательный контрольный просчет выбранного варианта системы проводится на ПВМ.

Порядок выполнения работы

- 1.Используя возможности вычислительной среды SIAM, набрать структурные схемы, показанные на рисунках 3 и 4.
- 2.Получить переходные характеристики исходных систем. Оценить качественные показатели рассматриваемых систем: характер переходного процесса (монотонность, колебательность), время регулирования $t_{рег.}$, относительное перерегулирование σ %, статическую ошибку Δ .
- 3.В структурные схемы рис. 3 и 4 ввести последовательные корректирующие устройства, как показано на рис. 5 и 6 пунктиром.
- 4.Подобрать коэффициенты корректирующего элемента (коэффициент усиления $K_{ск}$, постоянные времени $T_{1к}$ и $T_{2к}$) таким образом, чтобы переходной процесс был монотонным и время регулирования t_p , не превышало времени регулирования не скорректированной системы.
- 5.Ввести в обратные связи основных элементов исходной системы (рис.3,4) статическое звено с коэффициентом K_{oc} . Оценить влияние коэффициента обратной связи K_{oc} на характер переходного процесса.

Исходные данные структурных схем:

$$T_1=0,1; T_2=0,01; T_3=0,001; C_3=0,5;$$

Коэффициенты T_4 , T_5 , C_5 – принимаются в соответствии с индивидуальным заданием.

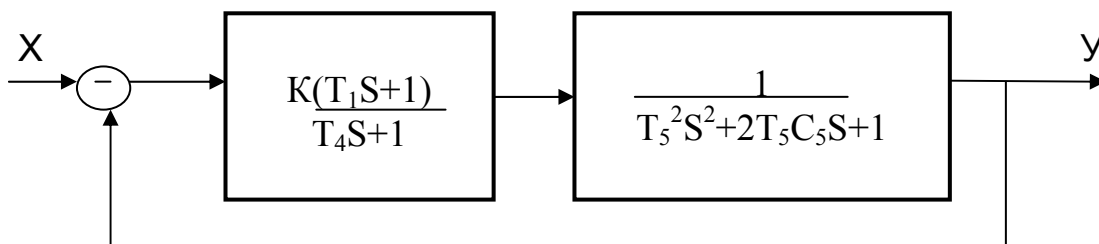


Рисунок 3–Исходная структурная схема системы

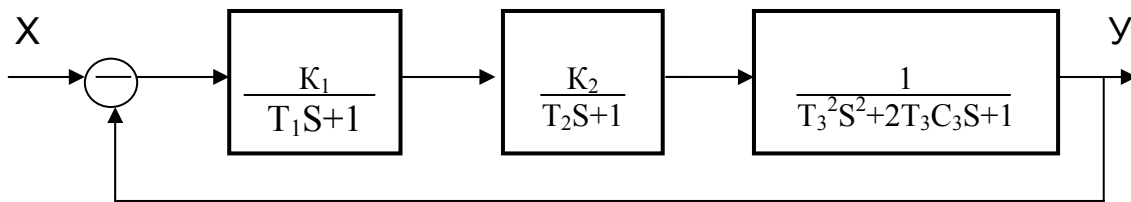


Рисунок – Исходная структурная схема системы

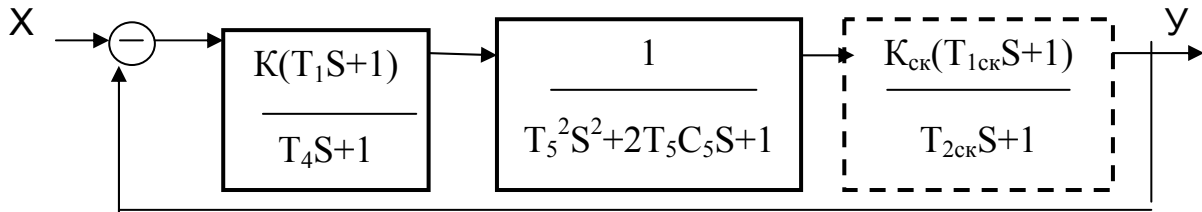


Рисунок 5 – Структурная схема с корректирующим звеном

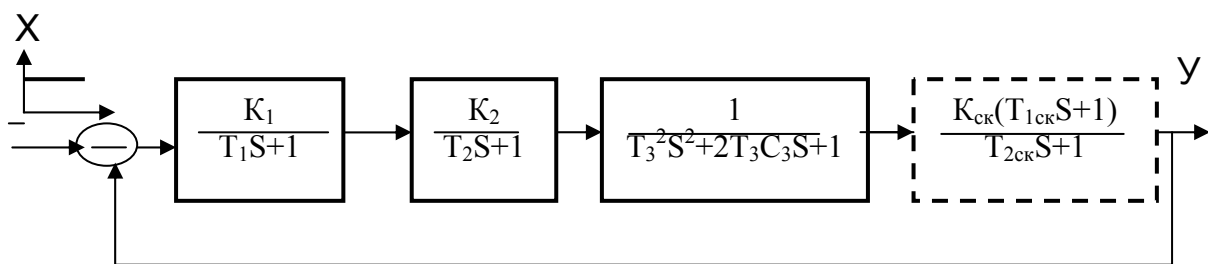


Рисунок 6 – Структурная схема с корректирующим звеном

Содержание отчета

1. Структурные схемы исходной и скорректированной системы.
2. Графики переходных процессов исходных и скорректированных систем.
3. Оценка качественных показателей рассматриваемых систем: характер переходного процесса, время регулирования, относительное перерегулирование, статическую ошибку.

Контрольные вопросы

1. Как оценивается качество переходного процесса системы?
2. Какими показателями оценивается: быстродействие, максимальное перерегулирование, частота колебаний? Показать их на полученных графиках переходных процессов систем.
3. Оценка качества переходных процессов по корням характеристического уравнения.
4. Как можно сравнить различные варианты систем по качеству?
5. Оценка быстродействия системы по ЛАЧХ.
6. Что такое частота среза на ЛАЧХ и как с помощью её оценить быстродействие системы?

7. В чем заключается коррекция системы и какие виды коррекции существуют?
8. Влияние коэффициента усиления разомкнутой системы на устойчивость её в замкнутом состоянии.
9. Оценить влияние коэффициента обратной связи на качественные характеристики переходного процесса.

Лабораторная работа № 8

Анализ нелинейной системы автоматического управления

Цель работы:

- изучить методику исследования автоколебательных режимов методом фазовых траекторий;
- изучить методику моделирования нелинейной САУ в среде SamSim;
- экспериментальное определение предельных циклов нелинейной системы;
- оценка влияния начальных условий на устойчивость и качество переходных процессов.

Общие сведения

К нелинейным системам относятся такие системы, в которых связь между выходной и входной величинами одного или нескольких элементов задается нелинейными уравнениями. Все реальные системы нелинейные, однако часто возможно с достаточной степенью точности описать линейными дифференциальными уравнениями. Примером существенной нелинейности, которой никогда нельзя пренебречь, является релейная характеристика. Включение в систему звена с такой характеристикой придает системе качественно новые свойства.

В результате математического описания нелинейной системы составляется структурная схема, состоящая из линейных, т.е. линеаризованных и существенно нелинейных звеньев. Нелинейности существенно усложняют исследование систем, т.к. нет общих методов описывающих их нелинейных дифференциальных уравнений дифференциальных уравнений. Нелинейности в равной степени могут оказывать как вредное, так и полезное влияние на работу.

В отличие от линейных систем точность, устойчивость и качества переходных процессов в нелинейных системах зависит от величины внешних воздействий. На рисунке 1 представлены переходные процессы, соответствующие одной и той же системе, но при различных воздействиях. При рассмотрении устойчивости таких систем необходимо оговаривать начальные условия и внешние воздействия. В связи с этим при изучении нелинейных систем

употребляются понятия устойчивости в малом, в большом и в целом.

Устойчивость в малом – это устойчивость при бесконечно малых отклонениях от исходного режима. Устойчивость в большом – это устойчивость при конечных отклонениях, возможных в данной системе по условиям ее работы. Устойчивость в целом – это устойчивость при неограниченных отклонениях, т.е. при отсутствии каких-либо ограничений. Нелинейная система может быть устойчива в малом но не устойчива в большом.



Рисунок 1 -Переходные процессы при различных воздействиях

Основным методом исследования нелинейных систем второго порядка является метод фазовых траекторий. Суть метода заключается в следующем. Пусть система описывается дифференциальным уравнением n -порядка. Её состояние может быть задано n -числами в n -мерном пространстве. Ими могут быть, например, выходная величина и её $n-1$ производных. Поэтому такое пространство называется фазовым пространством. (Фаза-момент, стадия рассматриваемого процесса). Для систем второго порядка фазовое пространство двумерное, т.е. представляет собой фазовую плоскость, а для систем третьего порядка трехмерное геометрическое пространство. Состоянию системы в каждый момент времени соответствует определенная точка фазового пространства. Эта точка называется изображающей точкой. При изменении состояния системы изображающая точка будет перемещаться, описывая траекторию, которая называется фазовой траекторией. Она дает полное представление о характере процесса в системе, кроме её временной оценки, поскольку время здесь из рассмотрения исключено. Если в качестве координат взять отклонения от установившегося режима, то этому режиму будет соответствовать начало координат. Эти фазовые траектории описывают поведение системы после того, как она выведена из установившегося режима, в результате изображающая точка оказалась в произвольном месте. Картина фазовых траекторий называется фазовыми портретами системы. На рисунке 2 представлены фазовые траектории, соответствующие различным начальным условиям.



Рисунок 2 – Фазовые траектории нелинейной системы
При наличии устойчивости фазовые траектории стягиваются к началу координат, а при неустойчивости – расходятся в бесконечность. Замкнутая траектория называется предельным циклом, ей соответствуют автоколебания, изображающая точка бесконечно движется по одной и той же замкнутой траектории.

Порядок выполнения работы

1. Используя возможности вычислительной среды SamSim, набрать структурную схему на экране ПК в соответствии с рисунком 3.

Исходные данные: $K_1=10$; $T_1=1$ с; $K=5$; $T_2 = 0,01$ с; $C = 10$.

Нач услов.: $X_4(0)=1,0$.

Погрешность интегрирования по методу Фельберга установить равной 0,001, конечное время интегрирования $t_k = 20$ с.

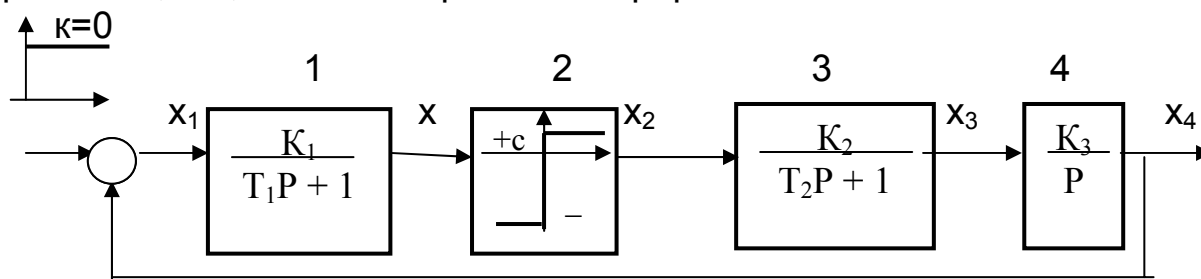


Рисунок 3 – Структурная схема системы

2. Построить фазовую траекторию, т.е. график выходного сигнала одного блока от выходного сигнала другого блока. В качестве входного сигнала принять сигнал с выхода блока 1, а в качестве выходного сигнала – сигнал с блока 4. Построение фазовой траектории сводится к следующему: нужно выделить миганием блок, выходной сигнал которого есть независимая переменная, и нажать клавишу с латинской буквой "X", после чего выделить блок с зависимой переменной и нажать "Y". После этого SIAM построит требуемый график.

Фазовую траекторию получить при двух значениях начальных условий:

1. $X_4(0) = 1, 0$.
2. $X_4(0) = 20$.

Зарисовать полученные фазовые траектории и определить устойчивость системы в большом и малом.

3. Произвести вывод графиков на экран монитора выходного сигнала $X_4(t)$. Зарисовать полученные графики. Оценить устойчивость системы. Определить частоту и амплитуду автоколебаний.

4. Заменить в структурной схеме рисунка 1 идеальное двухпозиционное реле на двухпозиционное реле с зоной нечувствительности (рисунок 4) и повторить пункты 1...3.

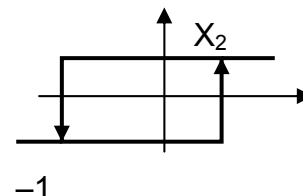


Рисунок 4—Характеристика двухпозиционного реле с зоной нечувствительности

Содержание отчета

1. Структурные схемы системы с идеальным двухпозиционным реле (рисунок 1) и двухпозиционным реле с зоной нечувствительности (рисунок 2)
2. Фазовые траектории нелинейной системы, соответствующим различным типам нелинейностей и начальным условиям.
3. Вывод об устойчивости нелинейной системы.

Контрольные вопросы

1. Какие системы называются нелинейными?
2. Примеры существенных нелинейностей
3. Влияние нелинейности на работу системы.
4. Понятие устойчивости системы.
5. Понятие устойчивости в малом.
6. Понятие устойчивости в большом.
7. Понятие устойчивости в целом.
8. Что такое фазовые траектории? Как по ней оценить устойчивость системы?
9. Что такое предельный цикл? Чему он соответствует в реальной системе?
10. Влияние начальных условий на устойчивость нелинейных систем. Объяснить на примере рассмотренных фазовых траекторий.

Лабораторная работа № 9

ПОЛУЧЕНИЕ ОПЫТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Цель данной работы - ознакомить студентов с современными методами и способами проведения анализа результатов летных испытаний и получения основных опытных летно-технических характеристик летательного аппарата. В работе рассматривается методика экспериментальной отработки систем управления, проводится оценка обеспечения качества всех процессов управления в ходе подготовки, пуска и полета, оценка запасов управляемости в условиях возможных предельных значений внешних возмущений.

1 ОПЫТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Система управления ЛА представляет собой единый комплекс средств управления и должна обеспечивать:

- стабилизацию движения ЛА на активном и орбитальном участках полета: ориентацию и угловую устойчивость ЛА относительно центра масс и стабилизацию центра масс относительно программной (номинальной) траектории;
- управление дальностью полета баллистических ЛА и обеспечение области выведения для РН;
- выдачу необходимых команд на борту ЛА в ходе пуска и полета, в том числе на испытательные органы разделения блоков, их элементов и отделения ГЧ или КА и включение жестких и гибких программ управления полетом КА;
- управление всеми средствами коррекции траектории КА на орбитальном участке полета;
- управление при стыковке КА и его посадке на планету;
- управление запуском и выключением двигательных установок на всех участках полета;
- регулирование двигателей по соотношению расходов компонентов и тяге;
- проведение испытаний и связь с испытательными пультами с наземными и бортовыми вычислительными машинами всех систем, входящих в комплекс СУ и ЛА, на всех этапах подготовки ЛА к пуску, включая поблочные комплексные испытания полностью собранного ЛА.

Экспериментальная отработка систем управления, как и других систем ЛА, производится в ходе наземных испытаний:

отдельных приборов и узлов системы с имитацией условий их работы при эксплуатации; составляющих подсистем; наземных комплексных испытаний системы на соответствующих стендах, а также при холодных и огневых испытаниях блоков или ЛА в целом. Завершающей стадией экспериментальной отработки системы управления являются предполетные комплексные испытания ЛА и сами летные испытания. Так как система управления включает в свой состав всю электрическую схему ЛА, в том числе и кабельную сеть, как бортовую, так и наземную, то полные комплексные испытания СУ могут быть осуществлены только на стартовой позиции при полной укомплектованности ракетно-космического комплекса. Все остальные испытания будут частичными, неполными комплексными, с введением имитаторов отсутствующих систем, а также с той или иной степенью имитации рабочих режимов и внешних возмущений.

По результатам летных испытаний необходимо произвести оценку обеспечения качества всех процессов управления в ходе подготовки, пуска и полета ЛА, в условиях внешних возмущений, имевших место при проведенных полетах, и для оценки запасов управляемости в условиях возможных предельных значений внешних возмущений.

Поэтому одной из основных задач при получении опытных характеристик СУ является определение фактических значений внешних возмущений, действующих на СУ в полете, и сравнение этих возмущений с принятыми при теоретических расчетах и имитируемых при наземной экспериментальной отработке СУ. Основными внешними возмущениями для СУ будут фактические возмущающие моменты и силы, создающие угловые отклонения ЛА относительно центра масс и его смещения от номинальной траектории.

Кроме того, внешними возмущениями для отдельных элементов СУ будут условия их работы в полете, отличающиеся от принятых при теоретических расчетах и от условий наземной отработки. Такими внешними факторами для элементов (или подсистем) СУ следует считать: силовые факторы и деформации конструкции ЛА и приборов, связанные с местами крепления этих элементов СУ; режимы колебаний, частоты и амплитуды вибраций; тепловые режимы; влияние изменения атмосферного давления; герметичность приборных отсеков, гермовыводов, герморазъемов; влияние возникающих помех, в том числе ложных токов, в реальной электрической схеме; совместимость одновременной работы различных электрических систем в комплексе; влияние электромагнитных излучений при работе других электронных систем комплекса и др.

Общим методом оценки обеспечения качества всех процессов управления по результатам летных испытаний может быть применение критериев теории технической устойчивости.

Основным требованием этой теории является критерий, состоящий в том, что каждый параметр на заданном участке времени не должен превосходить по абсолютной величине заданного значения:

$$|\xi_{i \text{ факт}}| \leq |\xi_{i \text{ пред}}|$$

Так, например, рассматривая опытные значения углов поворота и угловых скоростей ЛА по тангажу, рысканию и крену, следует сравнить их значения с предельно допустимыми значениями, определенными из условия прочности, сохранения формы и других требований. Рассматривая опытные значения отклонений координат, скоростей и ускорений от номинальных, следует также сравнивать со значениями, установленными из условий допустимых отклонений во времени движения на активном участке. Аналогично отклонение по точности времени выдачи необходимых команд СУ на борту ЛА также не может превышать погрешность, предусмотренную для каждого дискретного процесса.

В данной работе рассмотрены как типовые, некоторые из опытных характеристик СУ, получаемых по результатам летных испытаний. Так, например, приведена оценка процессов стабилизации движения ЛА и эффективности органов управления при воздействии в ходе полета внешних возмущений на активном участке траектории. Рассмотрены процессы появления колебательных режимов при управляемом полете ЛА. Рассмотрен также случай поиска и выявления неисправностей в работе автомата стабилизации движения ЛА в полете.

2 ОЦЕНКА ПРОЦЕССОВ СТАБИЛИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ЛА И ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНОВ УПРАВЛЕНИЯ

Уравнения возмущенного движения ЛА относительно центра масс и по нормали к траектории могут быть записаны следующим образом:

$$\dot{V}_Y + C_1 V_Y + C_2 \vartheta + C_3 \delta = \frac{F_{vy}}{m};$$

$$\ddot{\vartheta} + m_1 \vartheta + m_2 \delta = \frac{M_{\vartheta}}{J_z};$$

в боковой плоскости:

$$\dot{V}_Z + C_1 V_Z + C_2 \psi + C_3 \delta = \frac{F_{Vz}}{m};$$

$$\dot{\psi} + m_1 \psi + m_2 \delta = \frac{M_\psi}{J_Y};$$

в плоскости крена:

$$\dot{\gamma} + m_\gamma \delta = \frac{M_\gamma}{J_X}.$$

Уравнение управления обычно следующее: по нормали и в боковой плоскости соответственно

$$\delta_y = b_0 \Delta \vartheta + b_1 \Delta \vartheta + b_2 \Delta v + l_1 y' + l_0 y';$$

$$\delta_z = b_0 \psi + b_1 \psi + b_2 \psi + l_1 z + l_0 z;$$

по крену

$$\delta_\gamma = b_\gamma \gamma.$$

Здесь $b_0, b_1, b_2, l_1, l_0, b_\gamma$ - коэффициенты уравнений управления.

Блок-схема автомата стабилизации в боковой плоскости движения представлена на рис.1.

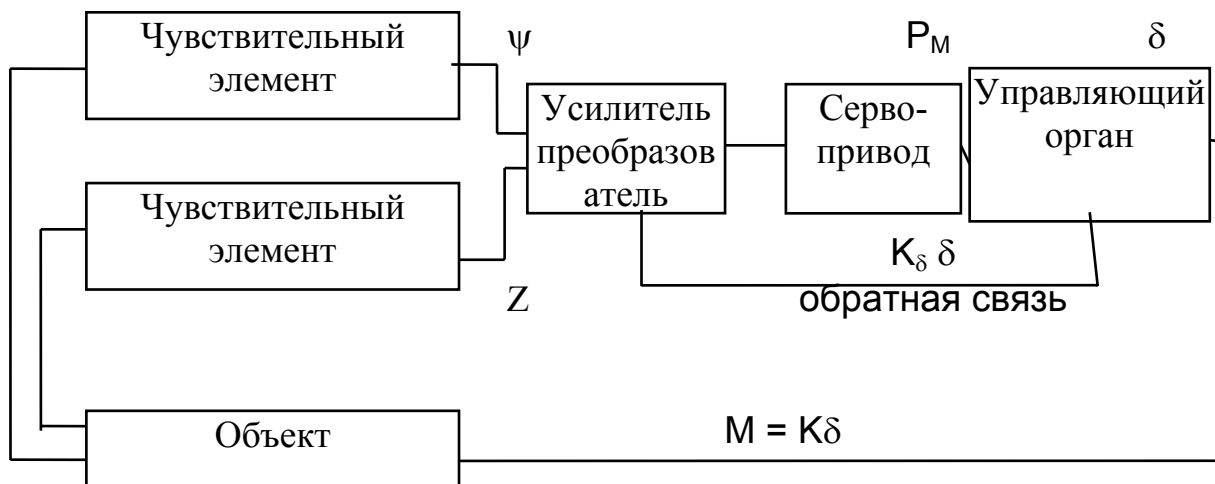


Рисунок 1 –. Блок-схема СУ в плоскости боковой стабилизации

Типовые опытные характеристики процесса управления по данным телеизмерений в плоскости боковой стабилизации движения представлены на рис.2. Аналогичные характеристики могут иметь место и по другой плоскости стабилизации. В плоскости крена также имеются измерения углов γ и δ .

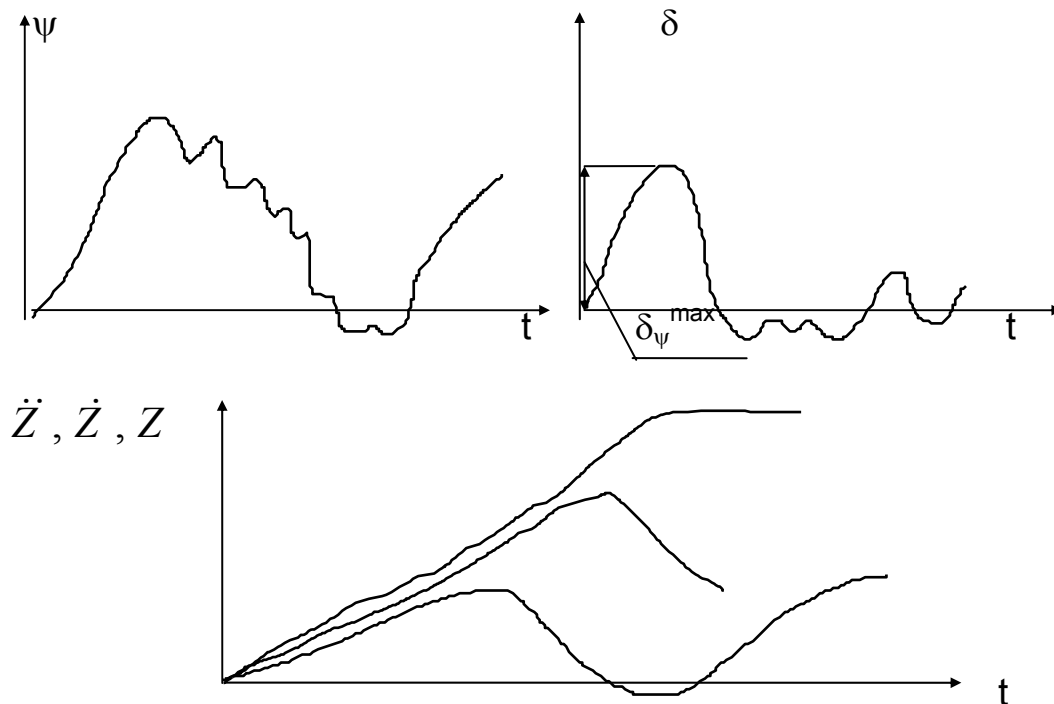


Рисунок 2 – Типовые опытные характеристики СУ в плоскости боковой стабилизации

Данные внешнетраекторных измерений (ВТИ) позволяют получить независимые результаты измерений отклонений координат и скоростей центра масс ЛА относительно номинальной траектории как на всем протяжении активного участка полета, так и в конце его, а также на необходимом для рассмотрения участке пассивного полета (например, области выведения РН космического объекта).

Из совместного рассмотрения данных телеметрических и внешнетраекторных измерений устанавливают отклонения фактических значений углов и угловых скоростей поворота ЛА относительно центра масс в трех плоскостях, отклонений управляющих органов также в трех плоскостях движения и отклонений от расчетных значений координат центра масс ЛА, их скоростей и ускорений.

Эти отклонения характеризуют эффективность СУ по обеспечению стабилизации пространственного движения ЛА в трех плоскостях и точность систем нормальной и боковой стабилизации движения центра масс ЛА.

Анализ опытных данных позволяет произвести оценку процессов стабилизации и эффективности СУ. Так, определяются фактические максимальные отклонения углов тангажа, рыскания и крена ЛА относительно программной траектории, угловых скоростей, линейных смещений центра масс, углов поворота (или других отклонений) управляющих органов и сравниваются с допустимыми значениями соответствующих параметров.

Однако окончательное значение об эффективности стабилизации и достаточной мощности управляющих органов можно дать только после оценки фактических возмущений, оценки

их систематических и случайных составляющих и оценки запасов управляемости для случаев возможных предельных значений возмущений.

Рассмотрим природу и причины создания и возможности определения опытных значений внешних возмущений.

Возмущающие силы, действующие на ЛА в полете, могут быть разделены на следующие группы:

- воздействие внешней среды;
- технологические погрешности изготовления и монтажа ЛА и двигательной установки и несимметричность компоновки СУ;
- неточность работы элементов и приборов СУ.

К возмущениям первой группы следует отнести аэродинамическую силу и момент от воздействия ветра. Если скорости ветра \vec{W} , обтекающего ЛА в произвольном направлении, разложить на составляющие по осям скоростной системы координат, то составляющая Wx_α изменит величину модуля вектора скорости ЛА V , а составляющие Wy_α и Wz_α изменят его направление. В продольной плоскости появится дополнительный угол атаки α_w , который приближенно определяется формулой $\alpha_w = Wy_\alpha / V$, в боковой плоскости соответственно $\beta_w = Wz_\alpha / V$. Пренебрегая изменением скоростного напора, возмущающие силы, обусловленные действием ветра, определяем по обычным формулам для аэродинамической подъемной силы при дополнительном угле атаки:

$$Y_w = C_y^\alpha q S \alpha_w ;$$

$$Z_w = C_y^\beta q S \beta_w ,$$

а соответствующие им возмущающие моменты:

$$Mw_y = Y_w (x_d - x_c) ;$$

$$Mw_z = Z_w (x_d - x_c) .$$

Опытные данные по возмущениям от воздействия ветра в полете на ЛА определяют по результатам метеозондирования атмосферы, проведенного в районе старта во времени, достаточно близком к моменту старта. Полученные данные по скоростям и направлениям ветра по высотам привязывают к траектории полета ЛА с помощью приведенных выше формул, с заданным шагом по времени, определяют возмущающие силы и моменты.

Боковая составляющая скорости ветра определяется по формуле

$$Wz_\alpha = W \sin (A_{\text{полета}} - A_{\text{ветра}}) ,$$

где $A_{\text{полета}}$ - азимут полета - угол между направлением на север и плоскостью полета; $A_{\text{ветра}}$ - азимут ветра по метеоданным - угол между направлением на север и зафиксированным направлением ветра.

Поперечная (нормальная) составляющая скорости ветра определяется по формуле

$$W_{y\alpha} = W_r \sin (\vartheta_{\text{прогр}} + \Delta \vartheta) ,$$

где $W_r = W \cos (A_{\text{полета}} - A_{\text{ветра}})$.

Здесь угол $\vartheta_{\text{прогр}}$ - угол программного разворота ЛА относительно местного горизонта, который обычно берется по данным траекторных расчетов.

При подсчете опытных значений возмущающих сил и моментов значения скоростного напора q определяются по значениям скорости V из данных внешнетраекторных изменений (ВТИ) и по значениям плотности ρ из данных метеозондирования.

Ко второй группе возмущений, обусловленных технологическими погрешностями изготовления и монтажа ЛА и его ДУ, можно отнести следующие: смещение и перекося сопел ДУ относительно установочной базы, смещение и перекося установочной базы относительно теоретического положения; разность тяг камер, возможный разброс тяг двигателя; упругая деформация рамы двигательной установки; смещение и перекося стыкующихся отсеков ЛА; погрешности монтажа стабилизатора.

Несимметричность компоновки ЛА приводит к возникновению возмущающего момента (за счет массовой асимметрии) и возмущающих силы и момента (за счет несимметричного расположения выхлопных сопел турбонасосных агрегатов двигателя, дренажных трубок и т.п.).

Параллельное смещение μ линии действия тяги относительно продольной оси эквивалентно смещению μ_y в направлении оси ОУ и смещению μ_z в направлении оси ОZ:

$$\mu^2 = \mu_y^2 + \mu_z^2 .$$

Смещение вектора тяги относительно каждой из осей создает возмущающие моменты относительно центра масс:

$$M_{\mu_y} = P \cdot \mu_y ; \quad M_{\mu_z} = P \cdot \mu_z .$$

Аналогично перекос линии действия тяги относительно продольной оси на угол ε приводит к появлению сил и моментов в продольной и боковой плоскостях:

$$F_{\varepsilon_y} = P_{\varepsilon_y}; \quad M_{\varepsilon_y} = P_{\varepsilon_y} (x_{cp} - x_c);$$

$$F_{\varepsilon_z} = P_{\varepsilon_z}; \quad M_{\varepsilon_z} = P_{\varepsilon_z} (x_{cp} - x_c).$$

Смещение положения центра масс от расчетного эквивалентно параллельному переносу линии действия тяги.

Возмущающий момент сил относительно продольной оси может возникнуть за счет обдувки и неточности установки стабилизаторов. Этот момент определяется формулой

$$M_{\alpha\beta} = C_{\alpha\beta} q S_{\alpha\beta},$$

где $C_{\alpha\beta}$ - аэродинамический коэффициент, зависящий от формы ЛА и числа M .

Момент относительно продольной оси (в плоскости крена) может появиться также за счет взаимного перекоса при установке камер в случае, когда двигательная установка имеет несколько двигателей или камер сгорания. Так, например, если четыре двигателя установлены относительно образующей цилиндра корпуса ЛА с перекосом на угол ε , то момент от перекоса $M_\gamma = 4 r_\gamma \varepsilon P$, где r_γ - расстояние от оси камеры до продольной оси ЛА.

Каждой группе возмущающих сил и моментов, действующих на предыдущую ступень ЛА, соответствует группа начальных возмущений для последующей ступени, к которым может прибавляться возмущение, возникшее в процессе разделения ступеней.

На различных участках полета роль возмущающих факторов не одинакова.

Основным возмущающим фактором для одноступенчатых ЛА и для первых ступеней многоступенчатых ЛА является ветер.

Возмущающие силы и моменты, обусловленные погрешностями изготовления и монтажа ЛА и несимметричностью компоновки (как систематические, так и случайные), для этих ступеней ЛА значительно меньше ветровых сил и моментов и при оценке эффективности органов управления, кроме плоскости крена, существенной роли не играют.

Поэтому для предварительного определения потребных углов отклонения органов управления и соответствия их фактическим моментам одноступенчатых и первых ступеней многоступенчатых ЛА достаточно определить действие на ЛА фактических ветровых возмущений. Ввиду этого для проверки необходимых запасов управляемости в плоскости тангажа и рыскания одноступенчатых и первых ступеней многоступенчатых ЛА необходимо полученные в полете

максимальные значения отклонений управляющих органов пересчитать, перейдя от фактических ветровых возмущений к их возможным предельным значениям. При этом рекомендуется эти предельные значения отклонений управляющих органов иметь с запасом не менее чем в 1,1 раза. Для вторых и последующих ступеней ЛА с высотой разделения более 40 км основными возмущающими факторами являются погрешности изготовления и монтажа и несимметричность компоновки ЛА и его ДУ. Воздействие ветра в этих случаях оказывается несущественным. Исключение составляет управление в плоскости крена, где воздействие ветра на первой ступени полета является несущественным по сравнению с другими возмущениями и практически не проявляется.

На начальных участках полета после разделения ступеней проявляется влияние на отклонения органов управления начальных возмущений, обусловленных ошибками стабилизации предыдущей ступени и процессом разделения ступеней.

Провести в полете независимое измерение всех остальных возможных возмущений, кроме ветровых, не представляется возможным. Фактическое суммарное возмущение в полете измеряется моментом реакции отклоненных органов управления и быстрым действием автомата стабилизации.

Так как в этих случаях мы имеем в полете случайную реализацию суммы большого количества независимых внешних возмущений, то при оценке необходимых запасов управляемости следует применить коэффициент для предельных значений случайных процессов: $\delta_{\text{пред}} = 3\delta_{\text{факт}}$.

Таким образом, можно считать достаточной мощность управляющих органов для вторых и последующих ступеней ЛА в плоскостях тангажа и рыскания, а для плоскости крена на всех ступенях полета, если в рассматриваемом одиночном полете используется не более одной трети располагаемого диапазона отклонений управляющих органов.

3 КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ

Система регулирования “ЛА - автомат стабилизации” представляет собой сложную динамическую систему, которой присущи несколько тонов колебаний, вызванных упругими свойствами корпуса ЛА в продольном и поперечном направлениях, жидким наполнением топливных баков, а также наличием нелинейностей отдельных элементов автомата стабилизации.

Параметры автомата стабилизации и их настройка выбираются из условий отсутствия колебаний в системе. Однако полностью исключить колебания при разбросах параметров автомата стабилизации и ЛА не всегда представляется возможным.

Колебания чаще всего фиксируются в виде дополнительных гармоник на основных управляющих параметрах - отклонений управляющих органов, углов и угловых скоростей по тангажу,

рысканию и крену. Причины появления колебаний должны быть установлены и устранены, подробнее это рассмотрено в опытных значениях характеристик конструкции ЛА.

4 ПОИСК НЕИСПРАВНОСТЕЙ

Неисправности в работе СУ и автомата стабилизации в ряде случаев проявляются в виде отказов отдельных элементов системы. Например, отказы командных реле, отказы таких отдельных элементов, как чувствительные элементы, преобразователи, сервоприводы и др. По проведенным измерениям при испытаниях удается путем анализа и сопоставления прохождения сигналов устанавливать первопричину неисправностей. В этих случаях рекомендуется проведение дублирования таких отказавших элементов, иногда и многократного.

Рассмотрим случай поиска неисправности в работе автомата стабилизации типа, приведенного на рис.1., при появлении ложных токов в электрической схеме. Для оценки правильности функционирования автомата стабилизации определяется соответствие фактических (измеренных) углов отклонения рулевых органов с расчетными, полученными по фактическим командным сигналам с чувствительных элементов, также зафиксированных системой измерений.

Величины расчетных углов отклонения рулевых органов получают с помощью уравнений управления. Так, например, в плоскости тангажа

$$\delta_{\text{расч. т.}} = b_0 \vartheta + b_1 \dot{\vartheta} + l_1 V_y + l_0 \int V_y dt,$$

в плоскости рыскания

$$\delta_{\text{расч. т.}} = b_0 \psi + b_1 \dot{\psi} + l_1 V_z + l_0 \int V_z dt,$$

где ϑ , $\dot{\vartheta}$, V_y , $\int V_y dt$, ψ , $\dot{\psi}$, V_z , $\int V_z dt$ - опытные значения соответственно углов тангажа и рыскания, угловых скоростей, боковых и нормальных скоростей и их интегралов для рассматриваемого момента времени; b_0 , b_1 , l_1 , l_0 - коэффициенты уравнений управления по проектным данным или по данным предстартовых испытаний.

Получая расчетные отклонения углов управляющих органов, их сравнивают с фактическими и приводят анализ допустимости полученной разности $\delta_{\text{факт}} - \delta_{\text{расч}}$. Некоторая часть этой разности может возникать от неточности коэффициентов уравнения управления, либо от методической погрешности использования приближенного квазистатического уравнения управления.

Однако эти ошибки практически малы, и наличие значительной разности $\delta_{\text{факт}} - \delta_{\text{расч}}$ может свидетельствовать о нарушении нормального функционирования системы автомата

стабилизации. Причинами такого нарушения могут быть: возникновение ложных токов в контуре, снижение коэффициента усиления автомата стабилизации в полете, выход из строя отдельных узлов схемы и т.п. Далее необходимо обязательно проводить исследование каждого структурного элемента системы. Заключительным этапом поиска неисправности обычно являются имитация неисправности в условиях моделирования на стенде и выработка рекомендации по устранению возможных причин ее появления для обеспечения надежной работы системы управления.

5 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Задачи, решаемые системой управления.
2. Основные задачи, которые ставятся при получении опытных характеристик систем управления.
3. Внешние возмущения, действующие на систему управления и на ее отдельные элементы.
4. Метод оценки обеспечения качества процессов управления.
5. Определение отклонений фактических значений углов, угловых скоростей, поворота ЛА, управляющих органов от расчетных значений.
6. Возмущающие силы, действующие на ЛА в полете.
7. Как оценить влияние ветра на ЛА?
 - 7.1. Определение боковой составляющей скорости ветра.
 - 7.2. Определение поперечной (нормальной) составляющей скорости ветра.
8. Возмущения, обусловленные технологическими погрешностями изготовления и монтажа ЛА и его двигательной установки.
9. Влияние несимметричности компоновки ЛА, параллельного смещения и перекоса линии действия тяги, смещения положения центра масс, косо обдувки, перекоса камер двигательной установки.
10. Основные возмущающие факторы, действующие на одноступенчатые ЛА и на первые ступени многоступенчатых ЛА, и определение возможных предельных значений отклонения управляющих органов.
11. Основные возмущающие факторы, действующие на вторые и последующие ступени ЛА.
12. Какой располагаемый диапазон отклонений управляющих органов можно считать достаточным?
13. Из каких соображений выбираются параметры автомата стабилизации и как фиксируются колебания в системе?
14. Как проявляются неисправности в работе систем управления?
15. Оценка правильности функционирования автомата стабилизации. Оценка расчетных углов отклонения рулевых органов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОПОРОЖНЕНИЯ БАКОВ

Цель работы: изучить принцип действия системы опорожнения баков /СОБ/; принципиальную схему системы и конструкцию расходомеров топлива, ознакомиться с лабораторной установкой для исследования комплекта системы опорожнения баков.

Принцип действия, структурная схема системы и ее блочный состав

Система опорожнения баков предназначена обеспечить заданное соотношение компонентов топлива и одновременное опорожнение баков к моменту окончания работы двигателей летательного аппарата.

Систему можно рассматривать как регулятор соотношения мгновенных объемных расходов компонентов (K_v), который поддерживается в определенном допустимом интервале. Если на некотором участке работы изделия происходит накопление одного из компонентов, то регулятор соотношения перестраивается на новое значение поддерживаемого K_v , при котором накопленное по уровням рассогласование снимается. Такая система обеспечивает в конечном счете одновременное опорожнение баков при ограниченных допустимых отклонениях K_v .

Принципиальная схема системы опорожнения баков приведена на рис. 4.1. Чувствительными элементами системы являются датчики мгновенных объемных расходов и датчики уровней. Измерение мгновенных объемных расходов производится датчиками расхода непрерывно. Контроль за опорожением компонентов осуществляется датчиками уровня дискретно. Сигналы датчиков уровня подвергаются предварительному преобразованию специальным усилительно - преобразовательным устройством УП-1, где происходит формирование так называемой "временной команды рассогласования", которая поступает в счетно - решающее устройство УП -2 для усиления и преобразования сигналов датчиков (мгновенных расходов и датчиков уровней) в командные сигналы, управляющие исполнительным механизмом (привод дросселя), который перемещает заслонку дросселя.

Датчики мгновенных расходов представляют собой участок трубопровода с чувствительным элементом - винтовой вертушкой, ось которой совпадает с направлением движения потока. Поток приводит во вращение вертушку, угловая скорость которой пропорциональна скорости движения жидкости в трубопроводе. Обороты вертушки посредством магнитоиндукционной системы преобразуются в электрический сигнал, частота которого пропорциональна измеряемому расходу. Номинальные расходы компонентов соответствуют частотам $f_{о ном} = 860$ Гц, $f_{г ном} = 700$ Гц. Сигналы датчиков мгновенных расходов подаются на вход усилителя-преобразователя УП-2, где смешиваются во входном каскаде. Полученный в результате сигнал с разностной частотой усиливается и

преобразовывается. На выходе усилителя включены командные реле, управляющие работой привода дросселя. При увеличении расхода окислителя (а следовательно, f_0 и разности $f_0 - f_r$) подается команда на закрытие дросселя, который находится в магистрали окислителя (см. рис. 4.1). При уменьшении расхода окислителя (или увеличении расхода горючего) разностная частота уменьшается и подается команда на открытие дросселя.

Исполнительный механизм (ПД) имеет двигатель постоянного тока, вращающийся с постоянной скоростью. Выходной вал привода соединяется с валом двигателя через дифференциал с помощью электромагнитных муфт РМ1 (закрытие) и РМ2 (открытие). Тормозная муфта служит для торможения вала при отсутствии команд. Так работает канал регулирования соотношения объемных расходов.

Положение уровней окислителя и горючего дискретно контролируется емкостными датчиками уровня, которые представляют собой систему конденсаторов, расположенных в специальной трубе на определенных расстояниях по высоте бака. Общее количество точек, в которых помещены конденсаторы, зависит от объема баков и возмущений в процессе полета. Конденсаторы (датчики уровня) объединены в две электрически независимые группы по принципу: четные номера в одной группе, а нечетные - в другой группе, согласно рис. 4.2. Это деление принято для дублирования работы уровнемерного канала. Каждая группа датчиков представляет собой два плеча

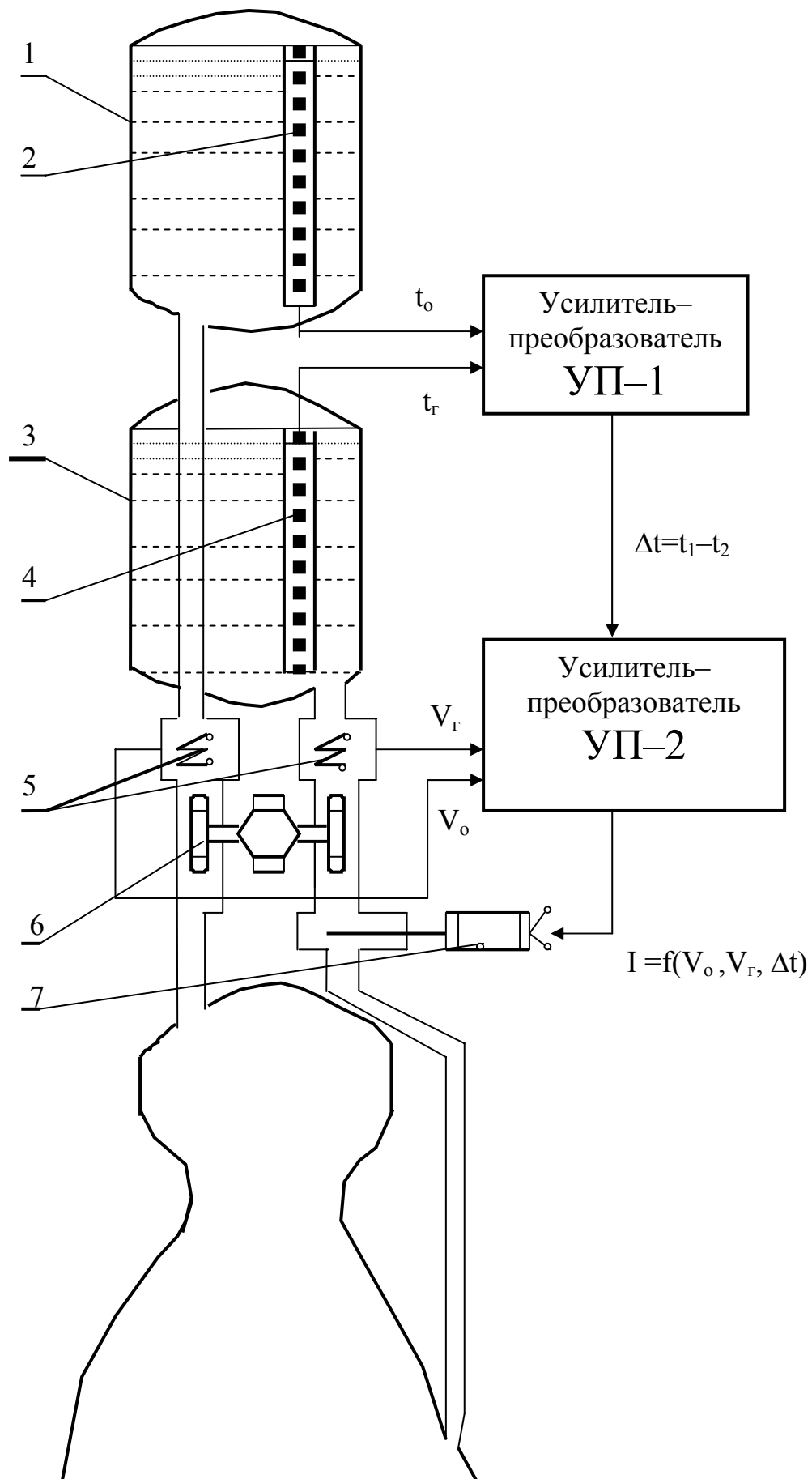
емкостного моста, включенных согласно рис. 4.3. Одно плечо находится в баке окислителя (Со), другое - в баке горючего (Сг). Два оставшихся плеча находятся в приборе УП - 1.

С уменьшением уровня топлива в баках конденсаторы постепенно оказываются в газовой смеси, в результате чего уменьшается их емкость. Уменьшение емкости вычисляется по формуле

$\Delta C = C_{\text{сух}}(\varepsilon - 1)$, где $C_{\text{сух}}$ - емкость "сухого" датчика; ε - диэлектрическая постоянная компонента.

Датчики - конденсаторы выполнены в виде пластин из бронзы. Пластины имеют строго определенные геометрические формы, располагаются в пакете на определенных расстояниях друг от друга и соединяются между собой в две группы четырьмя латунными стержнями пайкой. Весь пакет со стержнями закрепляется в двух колодках из пресс-материала. Для увеличения жесткости концы пластин каждой группы соединяются бронзовой проволокой и пайкой.

После сборки и пайки конденсаторы покрываются винифлексовым лаком. Труба датчиков изготовлена из анодированного дюралюминия. В местах, определяемых положением датчика, фрезеруются пазы, через которые конденсаторы вставляются внутрь трубы. Снаружи трубы у каждого датчика распаиваются проводники - выводы конденсаторов и соединительные провода.



1 – бак окислителя; 2 – датчик уровня; 3 – бак горючего; 4 – датчик уровня; 5 – датчик мгновенных расходов; 6 – ТНА; 7 – привод дросселя
 Рисунок-1 Принципиальная схема СОБ

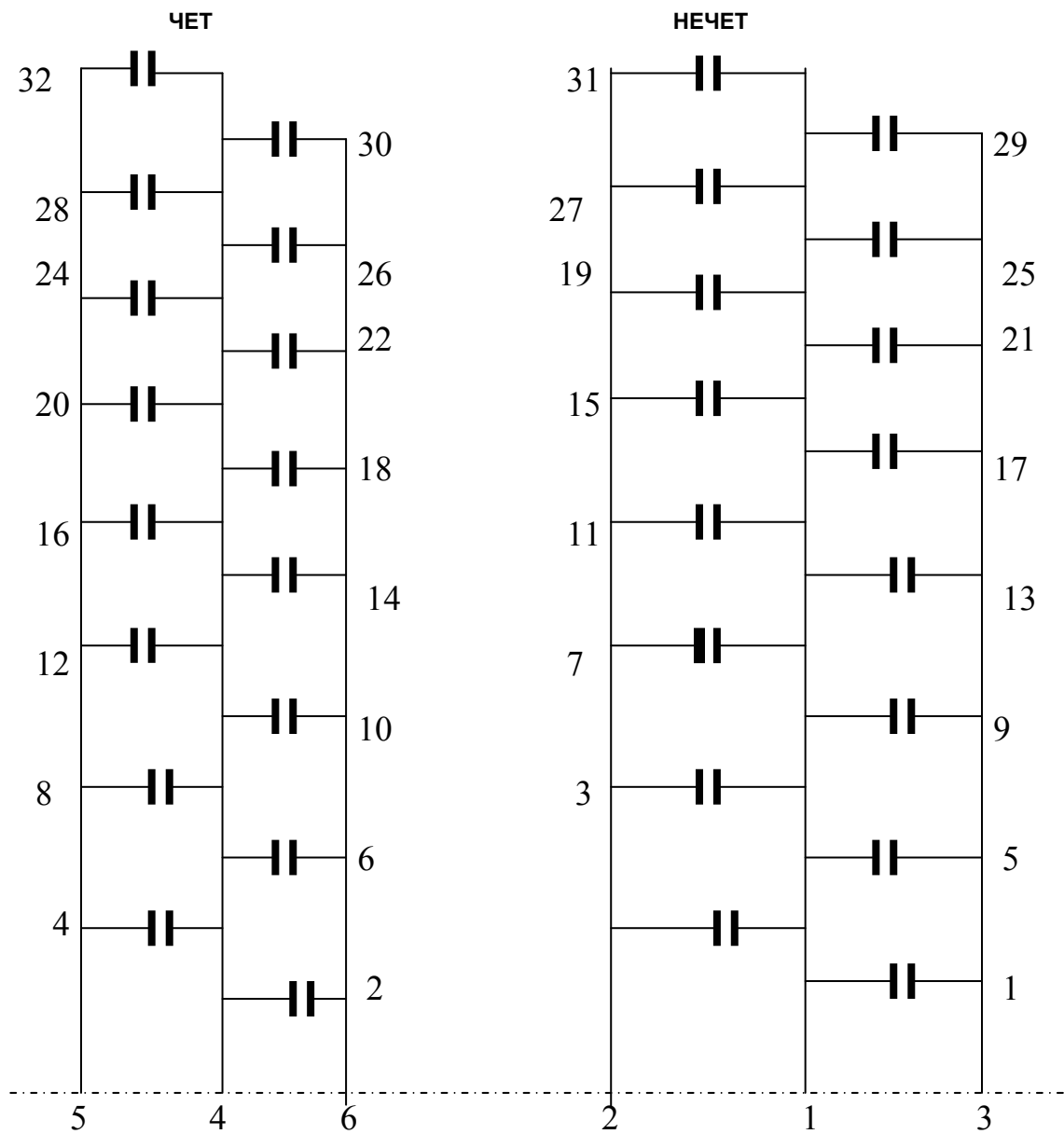


Рисунок-2 Схема датчика уровня

C_o

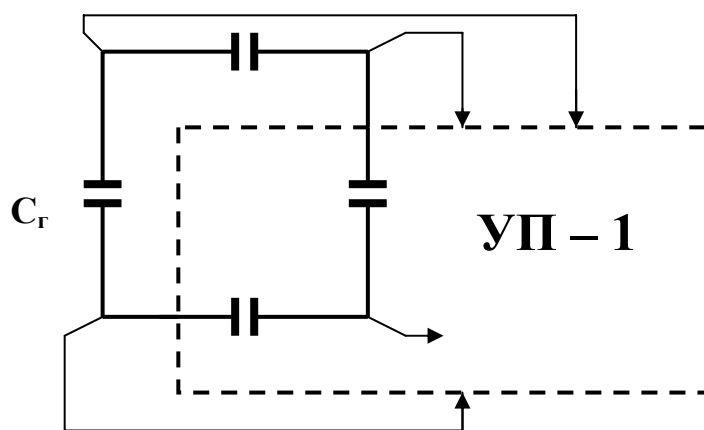


Рисунок-3 Схема включения уровнемерных датчиков

В нижней части трубы имеется фланец для крепления к нижнему днущу бака и патрубки успокоительной системы. Соединение датчиков в общую схему производится проводом, который ведется по наружной

поверхности трубы и закрывается по всей длине датчика крышкой. Концы кабелей с датчика выводятся наружу через гермовывод.

При уменьшении емкости датчика возникает либо разбаланс емкостного моста, либо его баланс. Каждый скачок емкости фиксируется прибором УП-1 как электрический сигнал, который усиливается и преобразовывается. В приборе, как и в датчике, имеются два одинаковых канала: четный и нечетный, Выходные реле прибора комбинацией своих контактов формируют сигнал временного рассогласования уровней Δt_{oz} или Δt_{zz} , который соответствует разности уровней окислителя и горючего в момент прохождения одноименных "точек" датчиков уровня. В случае более интенсивного расхода одного из компонентов топлива (горючего или окислителя) произойдет разбаланс емкостного моста и в приборе УП-1 сформируется сигнал рассогласования Δt . Этот сигнал поступает в блок коррекции прибора УП-2, который вносит пропорционально времени рассогласования Δt определенную по величине и знаку коррекцию в настройку регулятора соотношения расходов. Сигнал с блока коррекции поступает в суммирующий блок, в котором складывается с сигналом расходомерного канала. Результирующая команда поступает на привод дросселя.

Назначение основных блоков

Прибор УП -1

1. Канал Гнеч (О неч, Г чет, О чет) - предназначен для преобразования входного сигнала с ЭДУ (О неч, Г неч, О чет, Г чет), т.е. изменение емкости в напряжение переменного тока.

2. Канал формирования команд ОГ, ГО служит для усиления сигналов переменного тока горючего (окислителя) и преобразования его в сигнал релейного вида.

3. Блок защиты канала служит для отключения канала чет (нечет) при превышении сигнала рассогласования уровней более 3,5 - 6,5 с.

Прибор УП - 2

1. Блок коррекции предназначен для преобразования релейных сигналов с прибора УП – 1 в напряжение постоянного тока, хранящегося на контурах РС.

2. Частотный блок предназначен для усиления ЭДР-0 (ЭДР-Г).

3. Суммирующий блок предназначен для сложения сигналов уровнемерного канала (с ЭДУ) и расходомерного канала (с ЭДР).

4. Блок формирования команды "открытие" и "заккрытие" предназначен для выдачи соответствующей команды: "откр" или "закр", полученной в суммирующем блоке.

5. Блок защиты прибора УП - 2, также как и прибора УП - 1, построен по принципу поканального дублирования. Но в отличие от прибора УП – 1, здесь работает только один канал (основной). В случае его отказа блок защиты отключает основной канал и включает дежурный. Определение исправности каждого блока прибора определяется схемой опроса через каждые 8 с. Схема опроса входит также в блок защиты. В случае отказа и дежурного канала блок защиты отключает его и выдает команду "ФД" (фиксированный дроссель) - привод ПД устанавливает дроссель в фиксированное (настроечное) положение.

6. Блок баланса усилителя служит для установки рабочей точке усилителя частотного блока на середине линейной характеристики перед началом работы системы.

Привод дросселя

1. Рабочая муфта закрытия (открытая) передает вращение электродвигателя через редуктор на дроссель в сторону его закрытия (открытия).

2. Тормозная муфта - не позволяет выходному валу привода повернуться без команд "откр" и "закр".

3. Узел приведения в исходное положение - предназначен для установки привода (и дросселя) в исходное (настроечное) положение при отсутствии команд "пуск", "закр" или "откр" и в случае срабатывания защиты прибора УП - 2.

Технические характеристики системы

Диапазон регулирования соотношения расходов - $K_v = \pm 7\% \text{ от } K_{v\text{нум}}$.

Эффективность коррекции - 5% от K_v

Номинальные частоты датчиков

объемных расходов - $f_0 = 860$ Гц, $f_r = 700$ Гц.

Время переключки привода дросселя - 7,5 ... 12 с.

Конечное рассогласование уровней - $\leq 0,3$ с.

Питание системы:

- от сети постоянного тока - 27 В;

- от сети переменного тока - 40 В с частотой 1000 Гц.

Лабораторный стенд для исследования системы опорожнения баков

I. Описание стенда

Лабораторный стенд представляет собой совокупность аппаратуры, позволяющей имитировать работу приборов систем СОБ.

На рис. 4.4. приведена структурная схема стенда СОБ, а на рис. 4.5 его схема соединения.

Как и в штатной аппаратуре, здесь имеются два канала регулирования: уровнемерный и расходомерный. В качестве датчиков уровня системы используется их электрические эквиваленты (ЭДУ - О, ЭДУ - Г), представлявшие собой соединение "полумостом" электрических конденсаторов, емкость которых равна суммарной емкости плеч дискретных датчиков уровня.

В качестве эквивалентов датчиков расхода (ЭДР - О, ЭДР-Г) используются промышленные генераторы частоты, позволяющие выдавать сигналы, равные сигналам датчиков расхода в номинальном режиме работы изделия. Сигналы с ЭДГ-О, ЭДР-Г поступают в прибор УП – 2, в котором происходит их усиление и формирование для суммирующего каскада. В суммирующем каскаде этого прибора происходит сложение сигналов от ЭДУ и ЭДР. Результирующая команда поступает на привод ПД, обрабатывающий возникшее возмущение.

2. Пульт контроля СОБ

Пульт контроля представляет собой прибор, коммутирующий питание от источников 30 В, 40 В, 1000 Гц, 220 В к приборам стенда, а также позволяющий подавать необходимые сигналы управления и получать сигналы их исполнения.

В пульте имеются также эквиваленты датчиков уровня.

3. Назначение элементов, расположенных на лицевой панели пульта

Тумблеры

"40 В 1000 Гц" - включает питание от источника (ПТ-200) на приборы УП-1 и УП - 2.

"30 В" - включает питание 30 В на шины пульта и прибора УП - 1 и УП-2, мотор привода дросселя (ПД).

" 220В " - включает напряжение 220В на секундомер пульта.

"Вкл. Настр" - подает напряжение 30 В на тумблеры "Откр", "Закр".

" Откр « - подает напряжение 30 В на узел прибора УП-2, смещающий баланс усилителя в сторону открытия.

“Закр " - позволяет смещать баланс усилителя прибора в сторону закрытия.

" КВ ^в - дает разрешение на включение команды "ПУСК".

" ПУСК " - включает схемы приборов УП - I, УП - 2.

"ПФ неч Г" - разбаланс нечетного канала ЭДУ Г.

"ЗФ неч Г" - баланс нечетного канала ЭДУ Г.

"ПФ чет Г" - разбаланс четного канала ЭДУ Г.

"ЗФ чет Г" - баланс четного канала ЭДУ Г.

"ПФ неч Г" - разбаланс нечетного канала ЭДУ Г.

"ЗФ неч О" - баланс нечетного канала ЭДУ О.

"ПФ четО" - разбаланс четного канала ЭДУ О.

«ЗФ чет О" - баланс четного канала ЭДУ О.

" чет О " - включает сигнал разбаланса четного уровнемерного

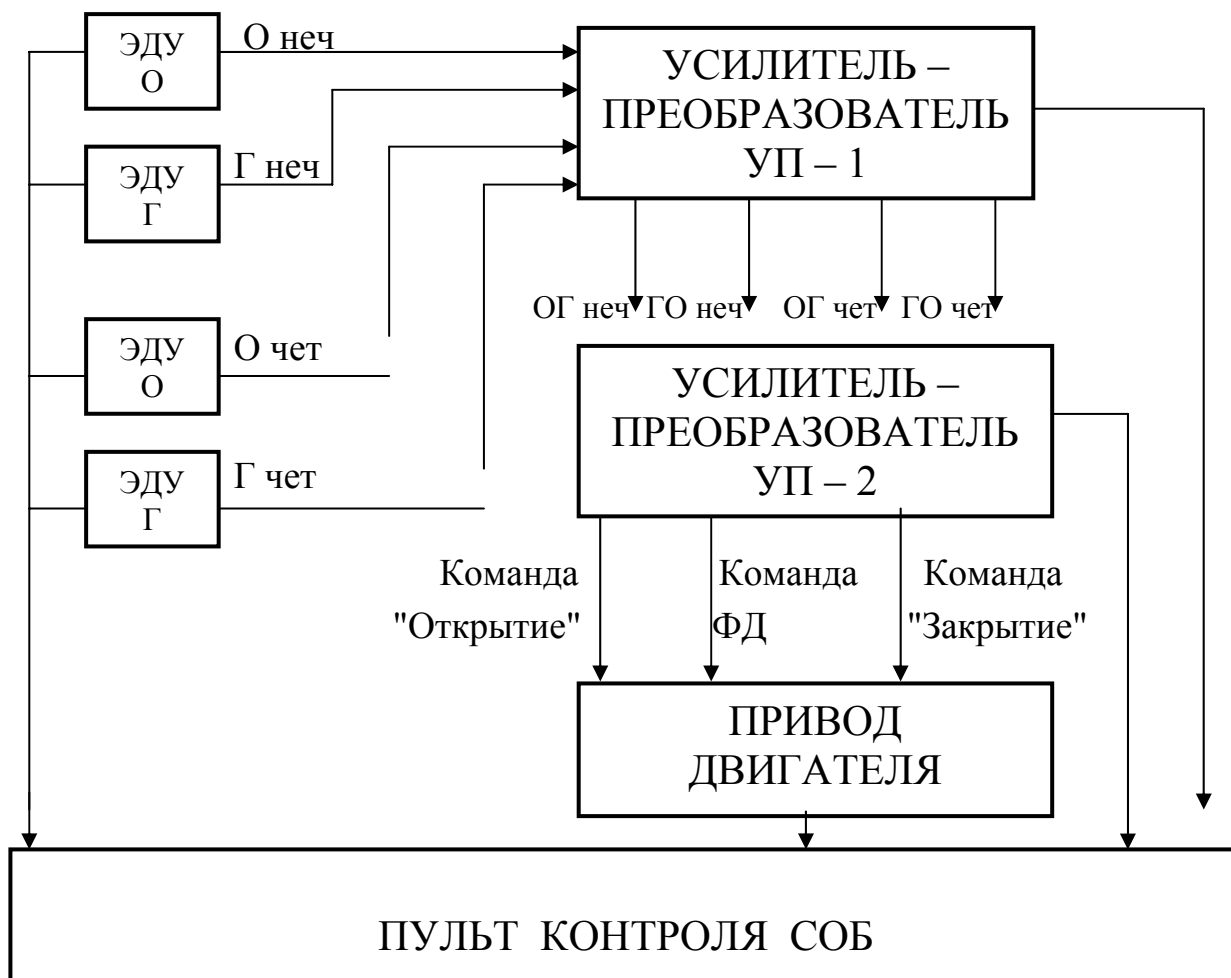
канала "О" прибора УП-1 в прибор УП – 2.

" неч О " - подает сигнал разбаланса нечетного канала "О" прибора УП – 1 в прибор УП-2 и

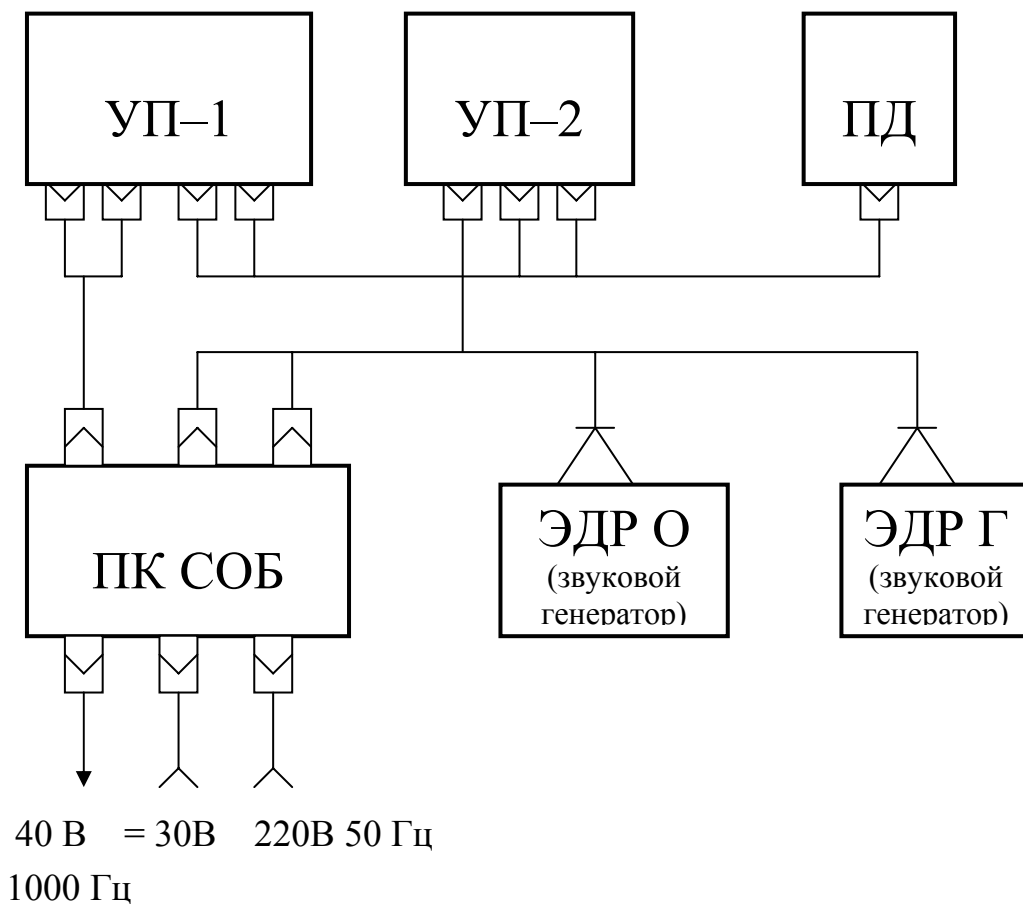
" чет Г " - подает сигнал разбаланса четного канала "Г" прибора УП-1 в прибор УП-2.

" неч Г "- подает сигнал разбаланса канала "Г" прибора УП-1 в прибор УП -2.

Примечание. Последние четыре тумблера в работе по инструкции не используются. В схему пульта они введены для автономной проверки приборов в случае неисправности.



Рисунок–4 Структурная схема стенда СОБ



Рисунок–5 Схема соединения стенда системы опорожнения баков

Сигнальные лампы

- "40В 1000 Гц" - подано питание 40В 1000 Гц на приборы стенда.
- " 30 В " - подано питание 30В на приборы стенда.
- " Откр " - сигнализация подачи команды "Открытие" прибором УП-2 на привод ПД.
- " Пуск " - сигнализация включения схема приборов УП – 1, УП – 2.
- "Защита" - сигнализация о работе схемы защиты прибора УП – 2.
- "Деж. сист."- сигнализация о включении дежурной системы прибора УП – 2.
- " ФД " - сигнализация о выдаче прибором УП-2 команды "Фиксированный дроссель" — команды установки привода в настроечное (исходное) положение.
- "ОТКЛ. КОРР" - сигнализация о снятии команды прибором УП–1 в суммирующий каскад прибора УП–2.
- "ОГ неч" - сигнализация команды с нечетного канала прибора УП-1 сочетания ОГ.
- " ГО" - сигнализация команды нечетного канала прибора УП–1 сочетания ГО.
- "ОГ чет" - сигнализация команды с четного канала прибора УП–1 сочетания ОГ.

"ГО чет" - сигнализация команды с четного канала прибора УП-1 сочетания ГО.

Вольтметр - прибор для регистрации положения привода ПД. Уменьшению показаний привода соответствует закрытие ПД, увеличению показаний прибора соответствует открытие ПД.

Клемма "+" и "-" позволяют контролировать положение привода с помощью дополнительных приборов (цифровой вольтметр и т.п.).

Работа на стенде

Перед началом работы на стенде необходимо ознакомиться со структурной схемой, принципом работы приборов СОБ и настоящей инструкцией.

Таблица 4.1 – Исходное положение органов управления

<i>Переключатели</i>	ЭДР О	ЭДР Г
	Шкала прибора - $\times 1$ Вых. Сопрот.- 600 Пределы шкалы Ослабление— 300мВ, 1В 3В, 0дБ Множитель – $\times 10$ Расстройка - 0	Пределы шкалы вольтметра Ослабление – 20 – 3. Внешняя нагрузка Ω - 50
Тумблеры	Сеть – выкл Внутр.нагрузка – выкл.	Внутр. нагр 600 – выкл. Множитель частоты – $\times 10$ Шкала частоты – $\times 10$ Шкала вольтм. – 31,6 Сеть – выкл. Частота H_z - 70

ВНИМАНИЕ! Соблюдайте правила и меры безопасности при работе с источником питания 220В, 40 В, 30 В.

Операции на стенде выполняйте в следующей последовательности.

1. Проверьте правильность соединения приборов по схеме (рис. 4.5).
2. Проверьте исходное положение тумблеров на пульте ПК СОБ - все тумблеры должны быть в нижнем (выключенном) состоянии.

3. Проверьте исходное положение органов управления на ЭДР О, ЭДР Г согласно табл. 4.1.

4. Тумблеры "Сеть" на ЭДР О, ЭДР Г поставьте в положение "Вкл".

5. Время прогрева ЭДР - около 5 мин. Ручкой "Рег. вых." установите стрелку на шкале прибора против цифры 7 на ЭДГ О и против цифры 6 на ЭДР Г по шкале 0 – 10 В – подано питание на вход прибора УП-1 (~ 1,5В).

ВНИМАНИЕ ! в процессе работы, периодически контролируйте частоту и выходное напряжение ЭДР. Увеличение напряжения свыше 3 В может привести к порче прибора УП-2. (Исключается другое положений всех органов управления, указанных в табл. 4. 1 при исходном положении.).

6. Подайте питание 40В 1000 Гц, 30В, 220В на стенд СОБ, для чего:

а) включите выключатель "Пуск ПТ" - работает ПТ - 200 (подано питание 40 В 1000 Гц);

б) подключите клеммы 30 В к сети 30 В;

в) вилку 220В подключите к промышленной сети 220В.

7. Включите на пульте ПК СОБ тумблеры 40В 1000 Гц, 30В. Загораются лампы 30 В, 40 В 1000 Гц (RS, TS, RT), ФД (возможно загорание лампы "Откр", "Закр").

8. Кратковременно (на 1-2с) включите тумблер "Откл.корр."

9. Проконтролируйте отсутствие загорания ламп "Откр." и "Закр." В случае загорания любой из ламп, настройте баланс усилителя прибора УП-2:

а) включите тумблер "Вкл.настр.";

б) если горит лампа "Откр.", то кратковременными включениями тумблера "Закр." добейтесь погасания лампы;

в) если горит лампа "Закр.", то кратковременными включениями тумблера "Откр." добейтесь погасания лампы. Выключите тумблер "Вкл.настр."

10. Включите тумблер "КВ".

11. Включите тумблер "Пуск". Загораются лампы "ПУСК", "ЗАЩИТА", гаснет "ФД", периодически (через 8с) мигают лампы "Откр", "Закр.", "Защита", "ФД", работает схема опроса исправности прибора УП-2.

12. Включите на пульте ПК СОБ тумблер "220 В" - подано питание на секундомер.

13. Зафиксируйте показания вольтметра.

14. Включите тумблер "ПФ неч О". Загорается лампа "ОГ". Начинает работать секундомер.

15. Через 2-3 секунды включите тумблер "ПФ неч Г", секундомер останавливается.

16. Зафиксируйте по секундомеру время рассогласования, а по вольтметру - изменение напряжения.

17. Включите тумблер "ПУСК".

18. Выключите тумблеры "ПФ неч О", "ПФ неч Г".

19. Включите на 1-2 секунды тумблер "Откл.корр." и выключите - происходит снятие возмущений в приборе УП-2 в блоке коррекции.

20. Сбросьте показания секундомера.

21. Повторите операции по пп. 11-20 при включении тумблеров "ЗФ неч О", "ЗФ неч Г", а также при включении аналогичных тумблеров по четному каналу с различными длительностями и знаком рассогласования (ОГ или ГО).

Задание на выполнение работ

1. Зарисуйте в рабочую тетрадь структурную схему штатной системы СОБ с указанием функциональных задач блоков системы.
2. Проведите работы в соответствии с разделом работы на стенде.
3. По проделанной работе составьте отчет.

Требования, предъявляемые к отчету

Отчет по проделанной работе должен содержать следующее:

1. Функциональную схему системы опорожнения баков.
2. Результаты, полученные в процессе испытаний.
3. Выводы по проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Назначение СОБ.
2. Какими чувствительными элементами оснащена СОБ для определения мгновенных объемных расходов и опорожнения компонентов топлива ?
3. Принцип работы датчиков мгновенных расходов.
4. Принцип работы датчиков уровня. Чем обеспечивается дублирование уравнемерного канала?
5. Назначение исполнительного механизма.
6. Принцип работы СОБ. Рассмотреть случаи: а) повышенный расход горючего (окислителя); б) пониженный расход горючего (окислителя).
7. Назначение усилителя – преобразователя УП – 1.
8. Назначение усилителя – преобразователя УП – 2.
9. Назначение блока защиты.
10. Для чего необходима система опроса? Когда включается дежурный канал и фиксированный дроссель?
11. Чем обеспечивается имитация разбаланса уровней в баках горючего и окислителя?
12. Как определить угловую скорость привода дросселя по показаниям приборов стенда?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гликман Б.Ф. Автоматическое регулирование жидкостных ракетных двигателей. - М.: Машиностроение, 1974. - 396с.
2. Браславский Д.А. Приборы и датчики летательных аппаратов, М.: Машиностроение, 1970 - 392с.
3. Гликман Б.Ф. Автоматическое регулирование жидкостных ракетных двигателей. - М.: Машиностроение, 1974. - 396с.
4. Браславский Д.А. Приборы и датчики летательных аппаратов, М.: Машиностроение, 1970 - 392с.

5. Душин, С.Е. Теория автоматического управления / С.Е. Душин, Н.С. Зотов, Д.Х. Имаев. – М.: Высш. шк., 2005. – 567с.
6. Основы управления полетом космических аппаратов: учеб. пособие для вузов / – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 480 с.
7. Фаронов В.В. Турбо Паскаль (в 3-х книгах). Основы Турбо Паскаля МВТУ – Фесто ДиДактик.М.: 1998.– 304с.
8. Клавдиев А.А. Теория автоматического управления в примерах и задачах. Часть 2. Моделирование линейных непрерывных систем автоматики: Уч. пособ. Санкт-Петербург, СФЗТУ, 2005,-81с.
9. Стрельченко А.М. Теория экспериментальной отработки летательных аппаратов. Анализ результатов летных испытаний летательных аппаратов. М.: МАИ, 1979-60с.

Приложение 1

Система автоматизированного моделирования и параметрической оптимизации СИАМ

Общие сведения о СИАМ

Система автоматизированного моделирования и параметрической оптимизации (СИАМ) предназначена для автоматизации научных и инженерных расчетов в области анализа и синтеза широкого класса динамических систем с сосредоточенными параметрами.

С помощью СИАМ можно проводить моделирование, осуществлять параметрическую оптимизацию, строить частотные и временные характеристики.

СИАМ ориентирована на блочно-структурную форму представления математических моделей. Модель в СИАМ - это совокупность типовых блоков и связей между ними. Выходной сигнал любого блока может быть передан на вход произвольного числа других блоков, что позволяет

воспроизводить средствами СИАМ математические модели большой сложности.

Характерной особенностью используемой версии СИАМ является реализованный в ней графическими средствами ПК объектноориентированный диалог: на экране ПК структура модели воспроизводится в форме, обычно используемой для изображения на листе бумаги, а все необходимые для обработки модели указания пользователь задает СИАМ в основном с помощью функциональных клавиш. Такая форма диалога избавляет пользователя от необходимости изучать входной язык и позволяет ему концентрировать внимание на существенных для решаемой задачи вопросах.

Для обращения к программе СИАМ необходимо на панели установить курсор на строку "SIAM" и нажать / на клавишу "Enter", затем установить курсор на строку "siam-s. exe" и снова нажать на "Enter".

1 Режим ввода модели

В этом режиме функциональные клавиши имеют следующее назначение:

- F1 - Пмщ (помощь) - вызвать справочную службу СИАМ;
- F2 - Блок - перейти к подрежиму ввода блока и исходящей из него линии;
- F3 - Перо - поднять /опустить "перо": при опущенном перо слово "Перо" в меню выделяется негативным изображением;
- F4 - Ред - перейти к режиму редактирования блоков;
- F5 - Диск - записать блок - схему на диск или читать ее с него;
- F6 - Окно - Показатель /убрать окно - подсказку в нижней зоне экрана;
- F7 - Мод - перейти к режиму параметрической оптимиза-

ции;

- F8 - Опт - перейти к режиму параметрической оптимизации;

ции;

- F9 - ЛЧХ - перейти к режиму построения частотных характеристик;

- ESC - Конец - выйти из СИАМ.

Средняя зона экрана используется для отображения структурной схемы или ее фрагмента. Структурная схема может смещаться относительно окна приблизительно на 100 линейных размеров экрана по горизонтали и 300 - по вертикали. Схема смещается автоматически всякий раз, когда перемещаемый пользователем курсор достигает границ окна, а также клавишами PgUp, PgDn, Home, End. При любом смещении в окне видно хотя бы часть структуры.

1.1 Ввод блоков

При нажатии на клавишу F2 СИАМ переходит в подрежим выбора блоков из системной библиотеки типовых блоков. В нижней зоне экрана появляется окно - подсказка с условными изображениями (пиктограммами) типовых блоков. При этом перо опускается и курсор перестает мигать, что свидетельствует о том, что его перемещение уже недоступно пользователю.

С помощью клавиш PgUp, PgDn можно смещать пиктограммы типовых блоков вниз или вверх, при этом открывается доступ к другим типовым блокам. В данной версии СИАМ реализованы 52 типовых блока.

Для выбора блока необходимо установить курсор на соответствующее окно, т.е. сделать его активным. После нажатия клавиши "Enter" СИАМ переходит к процедуре установки параметров активного блока. При этом экран полностью очищается и на нем появляется текст, описывающий алгоритм

активного блока и смысл используемых в нем параметров. Параметры вместе с принятым в системе их значениями выводятся в нижней части экрана. Активный параметр выделяется цветовым окном. После установки числовых значений параметров блока необходимо нажать "Enter". По этому сигналу СИАМ возвращает экран в графический режим и помещает в рабочее окно на то место, которое занимал курсор, пиктограмму выбранного блока с исходящей из него линией. Блоки можно располагать только на горизонтальных линиях.

После выхода из процедуры установки параметров СИАМ остается в подрежиме ввода блоков, давая пользователю возможность продолжить формирование структурной схемы.

1.2 Ввод и уничтожение линий

Для создания структурных схем с обратными связями и ветвлением приходится прерывать порядок построения блоков "в ряд" и дорисовать недостающие связи с помощью линий.

Линией в СИАМ считается прямолинейный отрезок, начинающийся на линии (блоке) и заканчивающийся на другой линии (блоке).

Для образования линии необходимо выйти из подрежима ввода блоков нажатием клавиши Esc. При этом перо опущено и указывает конец линии, исходящей из блока. Такая линия называется активной. Перемещение курсора по направлению активной линии удлиняет ее, а в обратном направлении - укорачивает. При смене направления перемещения курсора на ортогональное, а также при подъеме пера или при достижении текущей линией границ блока, линия перестает быть активной, о чем свидетельствует короткий звуковой сигнал и появление в конце линии галочки. Неактивную линию нельзя укоротить или удлинить с помощью курсора.

Любое возможное перемещение линий, в том числе и наложение линий друг на друга, никак не анализируется системой. Исключением является случай, когда перо опускается на линию, а с этого места берет начало другая линия. Вновь создаваемая линия будет "помнить" блок, из которого выходит линия-родитель, и, в свою очередь, передает этот блок другим линиям, начинающимся от нее.

Для создания ветвящихся структур курсор с поднятым пером перемещается к линии, от которой должна начинаться ветвь, после чего перо опускается на линию (клавиша F3). Попытка опустить перо не на линию вызовет сообщение об ошибке. В этом случае необходимо точнее установить положение курсора.

При вычерчивании линии ее конец может достичь границ некоторого блока. В этом случае раздается звуковой сигнал, перо автоматически поднимается и СИАМ анализирует блок: если блок имеет хотя бы один незанятый вход, СИАМ устанавливает связь от блока, который "помнит" линия, к данному блоку. В противном случае идет сообщение об ошибке и уничтожается текущая линия.

При использовании блоков с двумя входами (сумматор, умножитель и т.п.) применяется следующее правило: первая, достигшая блок, линия независимо от ее направления определяет первый оператор бинарной логической или математической операции (X1); линия, проведенная к блоку позднее - второй оператор (X2).

Для удаления неактивной линии необходимо подвести к ней круглый курсор (с поднятым пером) и нажать клавишу Del - программа запросит подтверждение операции уничтожения и, если подтверждение получено, уничтожит указанную линию. При этом будут уничтожены также и все другие линии, берущие от нее начало (дочерние линии), а также разорваны все ранее

установленные этой линией связи блоков. Программа блокирует уничтожение корневой линии, т.е. той, которая выходит непосредственно из блока.

1.3 Редактирование блоков

В ходе работы с системой часто возникает необходимость получения вариантов решения при изменении параметров модели. Для изменения или просмотра параметров ранее созданного блока используется режим редактирования. Это режим инициируется клавишей F4 в любом другом режиме работы СИАМ.

При нажатии на клавишу F4 один из блоков структуры выделяется миганием. Клавишами управления курсором необходимо перевести мигающее изображение на нужный блок, после чего нажать клавишу "Enter". Теперь можно выбрать нужный параметр и изменить его значение так, как это описано в п.1.1.

1.4 Уничтожение и добавление блоков

Для уничтожения любого ранее созданного блока курсор с поднятым пером перемещается до тех пор, пока его центр не попадет внутрь нужного блока. Затем нажимается клавиша Del. Изображение блока начинает мигать и появляется приглашение подтвердить операцию уничтожения. Если подтверждение получено, то СИАМ уничтожает блок и все исходящие из него линии.

Для добавления к структуре нового блока нужно сначала создать линию, на которой он будет располагаться, либо отвести курсор на свободное место. Следует иметь в виду, что при создании нового блока и исходящей из него линии СИАМ никак не контролирует топологию ранее созданной структуры, оставляя этот контроль полностью на усмотрение

пользователя. Во избежание возможных недоразумений не рекомендуется размещать новые блоки в "пустотах", образованных в результате удаления других блоков. Новые блоки следует размещать на любом свободном месте и устанавливать их связь с остальной частью структуры с помощью линий.

1. 5 Режим моделирования

Переход к режиму моделирования осуществляется по клавише F7 из режима ввода модели.

Назначение функциональных клавиш;

- F1 - Пмщ (помощь) - получить допуск к справочной службе;
- F2 - мет - выбрать метод и параметры интегрирования;
- F3 - - запустить процедуру интегрирования;
- F4 – Ред - редактировать блок;
- F5 – Окно - задать блоки для отображения в окнах;
- F6 - Грф - задать блоки для вывода графиков;
- F7 - Рез - задать количество точек графиков; вывести таблицу результатов на экран, принтер или в дисковый файл;
- F8 - Маш - масштабировать графики в окнах;
- F9 - - продолжить интегрирование;
- ESC - Конец - вернуться в режим ввода модели.

В ходе моделирования осуществляется численное интегрирование системы обыкновенных дифференциальных уравнений, которую автоматически формирует СИАМ по исходной структурной схеме. Результаты интегрирования используются для построения графиков и вывода таблиц.

Моделирование можно прекратить в любой момент, нажав клавишу Esc. По клавише F9 можно продолжить прерванное по Esc или завершившееся по условию $t=t_k$ моделирование. В

этом последнем случае СИАМ автоматически удваивает конечное время t_k и соответствующим образом изменяет накопленные в памяти результаты.

Выбор метода интегрирования и установка параметров можно перейти по клавише F2.

В данной версии СИАМ могут использоваться следующие методы численного интегрирования:

- метод Кутта - Мерсона 4- го порядка с автоматическим выбором шага интегрирования;

- метод Фельберга 5-го порядка с автоматическим выбором шага;

- метод Рунге - Кутта 4-го порядка с фиксированным шагом;

- метод Эйлера 2-го порядка с фиксированным шагом.

Процесс интегрирования характеризуется следующими параметрами:

t_0 - начальное значение модельного времени;

t_k - конечное значение модельного времени;

h - шаг интегрирования (для методов с фиксированным шагом);

err - допустимая погрешность (для методов с автоматическим выбором шага).

Для начального запуска моделирования используется клавиша F3. При этом загорается транспорант "Счет" в строке - меню и в левой части экрана появляется надпись "Выход - по Esc", информирующая о возможности принудительно прервать вычисление с помощью клавиши Esc.

На каждом шаге численного интегрирования СИАМ контролирует величину сигналов во всех блоках. Если какой-либо сигнал превышает по модулю величину $1.0E+$, СИАМ остановит моделирование даст соответствующее сообщение.

Для диагностирования источника ошибки интегрирования можно использовать таблицу

Номер ошибки	Причина появления ошибки
200	Деление на ноль
201	Нарушение границ диапазона
202	Переполнение стека
203	Переполнение динамической памяти
204	Ошибка адресации к динамической памяти
205	Переполнение разрядной сетки при действиях с плавающей точкой
206	Исчезновение порядка при действиях с плавающей точкой
207	Недопустимая операция при действиях с плавающей точкой.

На основании моделирования в нижней части рабочего окна появляется сообщение о реальном времени, затраченном на моделирование. Одновременно изменяется содержимое строки " " в левой нижней части экрана: в нем устанавливается достигнутое модельное время.

1.6 Вывод графиков

Для вывода графиков используется клавиша F6. При ее нажатии загорается транспорант "Грф" в строке-меню и один из блоков структуры выделяется мигающим изображением: клавишами управления курсором мигающее изображение можно сместить на блок, график выходного

сигнала которого нужно получить.

После этого необходимо нажать клавишу Enter.

Сразу после вывода графика пользователю доступны клавиши:

F5 - перейти к цветной графике;

F6 - изменить скорость вывода графиков;

Prt Scr - отпечатать на принтере графическую копию экрана;

ESC - продолжить выбор блоков для построения графиков.

В цветном режиме доступны следующие клавиши:

P1 - Баск - изменить цвет фона;

P2 - Axis - изменить цвет осей и разметки;

P3 - Line - изменить цвет линий графика;

P5 - B/W - вернуться к черно-белой графике;

EC - Return - продолжить выбор блоков.

При нажатии на одну из клавиш F1, F2 или F3 на экране появляется меню цветов, состоящее из прямоугольников различного цвета.

Прямоугольник с текущим цветом выделяется косым крестом. Клавишами перемещения курсора можно выбрать необходимый цвет, после чего необходимо нажать клавишу Enter.

В СИАМе имеется возможность выбора графиков в замедленном режиме. Для этого сразу после вывода графиков в черно-белом режиме нажимается клавиша F6. Система выдает запрос "Задержка XX", где XX - цифры. Ответом на запрос является целое число, которое трактуется как величина задержки в миллисекундах между выводом двух соседних точек графика.

При необходимости построить фазовую траекторию, т.е. график выходного сигнала одного блока как функцию от

выходного сигнала другого блока, нужно выделить миганием блок, выходной сигнал которого есть независимая переменная, и нажать клавишу с латинской буквой "X", после чего выделить блок с зависимой переменной и нажать "У". После этого СИАМ построит требуемый график.

1.7 Изменение длины графиков и вывод таблицы результатов

Клавишей F7 из режима моделирования можно перейти к процедуре изменения длины графика или вывода таблицы результатов на экран, принтер или дисковый файл.

При переходе описываемой процедуре на экране появляется меню-приглашение с перечислением доступных опций, одна из которых выделяется цветом. Клавишами смещения курсора можно выбрать нужную опцию, после чего нажатием клавиши "Enter" перейти к её исполнению.

1. 8 Вывод копий графического экрана

При нажатии клавиши "Print Screen" (или Shift-Print Screen) на экране разворачивается диалоговое окно, содержащее следующий запрос:

Вывод копии графического экрана

(Enter - сменить, Esc- отказаться от вывода);

Начать вывод;

Горизонтальная копия;

Инверсная копия (белый фон);

Вывод на принтер;

Отступ бумаги слева.

Одна из опций запроса выделяется негативным изображением. Клавишами смещения курсора можно поместить указатель на нужную опцию.

Опций запроса имеют следующий смысл:

"Начать вывод" - инициирует процедуру вывода копии графического экрана;

"Горизонтальная копия" - копия будет располагаться на листе бумаги горизонтально и займет $3/4$ ширины стандартного листа по высоте. После нажатия **"Enter"** опция заменяется на вертикальную, которая занимает всю площадь стандартного формата А4;

"Инверсная копия" - копия выводится в инверсном изображении (черный фон графиков на экране будет белым на бумаге, а сами графики - черными). При нажатии на **"Enter"** устанавливается опция **"Прямое изображение"** - копия будет иметь такой же вид, как и на экране;

"Отступ бумаги слева" - численное значение этой опции задает отступ от левого края бумаги в пробелах;

"Вывод на принтер" - копия будет выводиться на принтер. При нажатии на **"Enter"** устанавливается опция **"Вывод на дисковой файл"**.

Если выделена опция **"Начать вывод"**, то нажатие клавиши **"Enter"** инициирует собственно вывод копии.

ПРИМЕЧАНИЕ. Рассмотренная процедура выполняется, только если экран ПК находится в монохроматическом режиме.

2 Режим параметрической оптимизации

Под режимом параметрической оптимизации понимается процедура целенаправленного изменения одного или нескольких параметров модели таким образом, чтобы для момента модельного времени $t=t_k$ всемерно уменьшить выходной сигнал некоторого блока. Этот выходной сигнал отождествляется с целевой функцией. В качестве целевой функции может использоваться выходной сигнал любого блока модели. Выбор этого блока, а также выбор

оптимизируемых параметров возлагается целиком на пользователя.

В режиме параметрической оптимизации пользователю доступны следующие клавиши:

F1 - Пмщ- доступ к справочной службе;

F2 - Мат - выбор метода параметрической оптимизации и установление конечного интервала неопределенности параметров;

Alt+F2 - выбор метода численного интегрирования и установка его параметров;

F3 - Счет - запуск процедуры оптимизации;

F4 - Ред - редактирование блоков;

F5 - Функц-выбор блока, выходной сигнал которого для $t=t_k$ будет использоваться в качестве целевой функции;

F6 - Пар - выбор оптимизируемых параметров и диапазона их изменения.

2.1 Выбор метода

Процедура выбора метода параметрической оптимизации активизируется при нажатии на клавишу F8. При этом появляется окно-меню с предложением выбрать один из доступных методов оптимизации.

В СИАМ реализованы три метода:

- покоординатного спуска (Гаусса-Зейделя);
- прямого поиска (Хука-Дживса);
- случайных испытаний (Монте-Карло).

Строка с названием выбранного по умолчанию метода в меню выделяется цветом. Клавишами смещения курсора "вверх-вниз" можно выделить нужную строку, клавишей "Enter" - дать системе команду выбрать выделенный метод. Если перед "Enter" нажать F1, то на экран будет выведена

краткая характеристика того метода, название которого выделено в окне - меню.

После нажатия "Enter" на экране появляется дополнительное окно, в котором указывается принятый по умолчанию конечный интервал неопределенности оптимизируемых параметров "d" в процентах от исходного диапазона "D" их изменения. При необходимости пользователь может ввести новое значение "d" в пределах от 1 до 50.

Для того чтобы, не выходя из режима оптимизации, иметь возможность изменить параметры или метод интегрирования, необходимо совместное нажатие клавиш Alt+F2.

2. 2 Выбор целевой функции

По клавише F5 в режиме оптимизации активизируется процедура выбора блока, выходной сигнал которого для $t=tk$ будет интегрироваться системой как целевая функция.

Источником целевой функции может быть только блок, в выходном сигнале которого в той или иной мере опосредовано качество оптимизируемой системы. Чаще всего в исходной структуре нет ни одного блока, удовлетворяющего этому требованию. В этом случае перед проведением оптимизации следует дополнить исходную модель необходимым блоком или блоками, то есть сформировать целевую функцию.

Механизм выбора блока заключается в переводе на него курсора и нажатия "Enter".

2. 3 Выбор оптимизируемых параметров

По клавише F6 можно перейти к процедуре выбора оптимизируемых параметров и установки диапазонов их изменения. СИАМ позволяет оптимизировать до 10-ти параметров одновременно.

Процедура разбивается на два этапа: вначале выбирается блок с помощью клавиш смещения курсора, а затем, после нажатия " " указываются конкретные параметры в этом блоке. На экране появляется дополнительное окно, в котором указываются все параметры блока. Для каждого параметра дается его текущее (номи-нальное) значение, а также минимальная Min и максимальная Max границы диапазона его изменения. Если Min=Max, то параметр исключается из процедуры оптимизации. Параметры блока указываются в окне цветом.

2. 4 Запуск процедуры оптимизации

Запуск оптимизации осуществляется по клавише F3. В строке - меню загорается транспарант «Счет». В левом нижнем углу появляется информирующая надпись "Выход - Esc", а в правой нижней зоне экрана формируется окно для динамического отображения текущего состояния процесса оптимизации: указывается порядковый номер завершившегося шага оптимизации, текущее и минимальное значение целевой функции, а также реальное время, затраченное системой на предыдущий шаг оптимизации.

3 Режим построения частотных характеристик (ЧХ)

В СИАМ включены средства, облегчающие и упрощающие процесс построения частотных характеристик модели или ее составных частей. Эти средства становятся доступными пользователю при нажатии на клавишу F9 в режиме ввода модели.

Каждый линейный блок помечается символами от "А" до "Z", исключая "М" и "L", а если таких блоков больше, чем 24, то "АХ"... "АЗ", где Х - цифры от 0 до 9.

При входе в режим пользователю доступны только три функциональные клавиши:

F1 - Пмщ - допуск к справочной службе;

F4 - Ред - редактирование блока;

Esc - Выход - возврат в режим ввода модели.

Введем обозначения:

< Блок > - имя вида A...Z или AX...ZX, присвоенное линейному блоку;

< Буфер > - имя вида M0 – M9 для обозначения одного из 10-ти внутренних буферов (буфер - это область памяти, в которой СИАМ может сохранять коэффициенты полиномов числителя и знаменателя передаточной функции; порядок любого полинома не должен превышать 100);

< Константа > - вещественное число без знака;

< Операция > - один из следующих знаков, используемых для обозначения операций над передаточными функциями:

"+" - операция сложения;

"-" - операция вычитания;

"*" - операция умножения;

"/" - операция деления.

<Операнд> - <Блок> или <Буфер> или <Константа>.

С учетом сделанных определений можно описать допустимые предложения языка.

Этих предложений - три.

Первое используется для проведения подготовительных операций и имеет вид:

<Буфер > = <Операнд> <Операция> <Операнд>

Например, M0 = S-K или M1 = 1+A.

Второе предложение - это указание СИАМ построить логарифмические частотные характеристики (ЛЧХ)

L = < Операнд >

Например, L = D .

Третье предложение позволяет вывести на экран коэффициенты полиномов передаточной функции любого блока или содержимое любого буфера:

< Блок > = ? или < Буфер > = ?

Сразу после вывода ЛЧХ пользователю доступны клавиши:

F1 - Пмщ - доступ к справочной службе;

F2 - изменить частоту - переход к процедуре изменения диапазона частот;

F3 - большой график - вывод ЛЧХ в укрупненном масштабе.

F4 - АФЧХ - вывод "обычных" частотных характеристик;

Esc - выход - возврат к основному меню построения ЧХ.

Приложение 2

Система автоматизированного моделирования SamSim

Возможности программы.

Поле редактора.

Создание новой модели.

Установка/удаление контрольной точки.

Задание параметров интегрирования.

Задание параметров элементов схемы.

Проверка схемы.

Расчёт схемы.

Графики по результатам расчёта.

Фазовый портрет.

Частотные характеристики.

Годограф.

Просмотр результатов в таблице.

Задание названия модели.

Печать.

Сохранение результатов расчёта в текстовой файл.

Экспорт результатов расчёта в MS Excel.

Сохранение схемы и графиков как картинки.

Настройки программы.

Библиотечные элементы.

Горячие клавиши.

Решение типичных проблем.

Возможности программы

Программа SamSim предназначена для моделирования линейных и нелинейных цепей в системах автоматического управления. С помощью этой программы возможно:

- построение любых схем моделей из предлагаемых элементов,
- задание параметров интегрирования модели и параметров элементов схемы,
- сохранение в файле и считывание из файла модели (схемы и её параметров),
- построение зависимостей от времени в любых точках схемы,
- построение фазовых портретов для любых схем,
- построение частотных характеристик и годографов для любых линейных схем,
- представление результатов расчёта в графической и табличной форме,
- сохранение результатов расчёта в текстовом файле (полностью или частично),
- экспорт результатов расчёта в MS Excel (полностью или частично),
- сохранение полученных графиков как картинки формата bmp или jpeg,
- печать схемы модели и её параметров, результатов расчёта (в виде графиков и в виде таблицы или части таблицы),
- настройка интерфейса программы.

Поле редактора

Поле редактора разбито на ячейки, в которых только и могут быть расположены элементы схемы. На одном поле могут размещаться несколько независимых однотипных схем. Размер поля редактора ограничен размером 5000 на 5000 ячеек.

Слева и сверху поля редактора расположены индексы ячеек. Индексы предназначены для индикации положения элементов схемы в поле редактора. После открытия модели из файла модель помещается в поле Редактора так, что левая верхняя ячейка наименьшего прямоугольника, накрывающего всю схему, имеет индекс (1,1).

Справа и снизу поля редактора расположены полосы прокрутки, с помощью которых можно передвинуть схему в любую сторону. Если движок полосы прокрутки мигает, это означает, что он поймал «фокус» и теперь будет реагировать на клавиши со стрелками (расположены справа на клавиатуре).

При щёлкании кнопкой мышки по полю редактора выделяется соответствующая ячейка. В выделенную ячейку (пустую или занятую) можно поместить элемент схемы или двойным щелчком по необходимому элементу в окне библиотек, или из буфера после копирования или вырезания. Если выделена ячейка с элементом, то возможно его удаление, вырезание, копирование, замена на

элемент из буфера, задание параметров элемента, если они есть. Двойным щелчком по ячейке с элементом устанавливается или снимается точка наблюдения.

При создании схемы или при первом её открытии, когда на схеме нет выделенных элементов, двойной щелчок по элементу в библиотеке приводит к вставке элемента в левую верхнюю ячейку поля Редактора, если она свободна.

Элементы схемы можно перетаскивать (drag'n'drop) по полю редактора в свободные ячейки. Их также можно перетаскивать из библиотеки.

В настройках можно задать, будет ли программа запрашивать подтверждение на удаление элемента из схемы или на замену выделенного элемента на элемент из буфера.

Элементы схемы можно перетаскивать по полю редактора, их можно разворачивать в любом направлении.

Создание новой модели

Выбрать в меню пункт Файл/Новый или нажать соответствующую кнопку на панели инструментов. Выбрав библиотеку элементов в окне Библиотеки, перетаскиваем из неё элементы в свободные ячейки поля Редактора или, выбрав будущее положение элемента в поле Редактора (после щелчка мышью выделяется синим прямоугольником), дважды щёлкнуть по нужному элементу в окне Библиотеки. С помощью операций перетаскивания в поле редактора, разворота элементов, копирования-вставки, удаления элементы выстраиваются в схему.

При создании схемы или при первом её открытии, когда на схеме нет выделенных элементов, двойной щелчок по элементу в библиотеке приводит к вставке элемента в левую верхнюю ячейку поля Редактора, если она свободна.

Доступ к операциям редактирования возможен как из пунктов главного меню, так и из поп-меню, всплывающего по щелчку правой кнопки мыши, или с помощью кнопок на панели инструментов, или с помощью “горячих” клавиш.

Установка/удаление контрольной точки

Контрольная точка устанавливается на выходе элемента с помощью двойного щелчка левой кнопки мыши по этому элементу схемы, а также через пункты главного или всплывающего меню. Повторные двойные щелчки по этому же элементу снимают контрольную точку. Номер контрольной точки устанавливается автоматически. Каждому номеру соответствует свой цвет. В схеме допускается не более 12-ти контрольных точек. Если контрольная точка не устанавливается ...

Задание параметров интегрирования

Задание параметров интегрирования производится через пункт главного меню Задать/Параметры интегрирования или с помощью соответствующей кнопки на панели инструментов.

Задание параметров интегрирования необязательно, если подходят значения по умолчанию равные: от 0 до 5 с шагом 0.01.

После сохранения модели в файле параметры интегрирования также сохраняются в этом файле.

Точность расчёта напрямую зависит от величины выбранного шага интегрирования. Для того, чтобы убедиться в достоверности результатов расчёта, необходимо сравнить их между собой при нескольких значениях шагах интегрирования. Уменьшение шага интегрирования увеличивает время расчёта.

Задание параметров элементов схемы

Пока не заданы параметры для всех элементов схемы (для всех, у которых параметры имеются, конечно), расчёт схемы невозможен. Задание параметров элементов схемы производится через пункт главного меню Задать/Параметры элемента или через соответствующий пункт меню, всплывающего по правой кнопке, или с помощью соответствующей кнопки на панели инструментов.

Если для элемента схемы можно задать параметры, но они не заданы, то этот элемент помечается значком (сиреневая звёздочка или чёрный кружок, в зависимости от текущей цветовой палитры экрана и его разрешения) в левом верхнем углу изображения элемента на схеме.

После нажатия кнопки “Принять” в окне задания параметров происходит проверка корректности введённых значений. По результатам проверки программа может сообщить об ошибке или выдать предупреждение о возможных проблемах при расчёте. В случае ошибки принятие заданных значений не происходит. После предупреждения заданные значения параметров будут приняты.

Если по задаваемым параметрам элемента можно определить вспомогательный зависимый параметр, то его пересчёт осуществляется с помощью кнопки “Пересчитать ...”.

Для линейных элементов в окне задания параметров отображается передаточная функция. В передаточных функциях операторная переменная обозначается как “p”, в литературе встречаются и другие обозначения, например: “s”.

При задании параметров линейного звена общего вида: для подстройки размеров таблицы задания коэффициентов и начальных условий необходимо использовать кнопки “Применить n и m”. При изменении размеров таблицы содержание всех её ячеек устанавливается по умолчанию.

После сохранения модели в файле все заданные параметры элементов также сохраняются в этом файле.

Проверка схемы

Для проверки схемы на корректность её составления выберите в главном меню пункт Выполнить/Проверка схемы или нажмите соответствующую кнопку на панели инструментов. Результат проверки будет сообщён.

Проверка производится автоматически (если уже не была сделана) после начала выполнения расчёта схемы.

Необходимые условия корректности схемы:

- наличие хотя бы одного элемента с источниками сигналов;
- задание параметров у всех элементов схемы;
- корректность нарисованной схемы (отсутствие неверно развёрнутых элементов, например);
- если в схеме найдены элементы, не соединённые с основной схемой, то программа выдаёт предупреждение о наличии «висящих» элементов, но расчёт при этом может быть произведён; у найденных «висящих элементов» будут сняты точки наблюдения.

Расчёт схемы

Для расчёта схемы выберите в главном меню пункт Выполнить/Расчёт или нажмите соответствующую кнопку на панели инструментов. Если расчёт возможен, то он производится, и по его результатам будут построены графики в заданных контрольных точках схемы. Вид графика (зависимость от времени или частотные характеристики) зависит от типа входного элемента, задающего сигнал.

При проведении расчёта программа пытается отследить случай расхождения процесса: если в какой-то момент результат расчёта превышает $1e12$, то расчёт прерывается, и выдаются результаты только по рассчитанным точкам. Для проведения расчёта схемы должна быть установлена хотя бы одна контрольная точка. Цвет кривой на графике соответствует цвету номера контрольной точки, настраиваемые пользователем.

До начала расчёта проверяется возможность его проведения.

Во время проведения расчёта в левом нижнем углу появляется информация об этом. Там же может отображаться ход расчёта, если сделано соответствующее разрешение в настройках. Отображение хода расчёта может увеличить длительность расчёта примерно на 20%.

После проведения расчёта внизу высвечивается его длительность.

См. также – графики по результатам расчёта, построение фазовых портретов, частотных характеристик и годографов, просмотр результатов расчёта в таблице.

Графики по результатам расчёта

После проведения расчёта схемы результаты расчёта можно просмотреть на графике. В зависимости от настроек программы, график будет построен сразу или его можно увидеть через меню Окно/Графики. Окно с графиками всегда находится перед основным окном программы, его можно сворачивать.

Цвет кривой на графике соответствует цвету номера контрольной точки, настраиваемые пользователем.

После первого расчёта схемы диапазон вывода на график определяется автоматически. Вручную диапазон вывода можно изменить нажав кнопку “Настройка” под графиками. Чтобы увидеть на графике сделанные изменения в настройках, используется кнопка “Обновить”, можно и полностью повторить расчёт.

Величины деления шкал к графикам, при их автоматическом определении, находятся в пределах от 0.1 до 10. Если множитель к шкале не 1, то он (множитель) выводится к соответствующей оси в скобках со знаком “х” перед множителем. При ручном задании диапазонов, множитель принимается равным 1 и не выводится, шкалы определяются пользователем.

При ручном задании диапазонов для логарифмических частотных характеристик следует помнить, что интервал задаётся для логарифма $\lg w$, а задаваемое число точек относится к числу точек на декаду (поэтому рекомендуется задавать 5 или 10). Причём отсчёт ведётся от ближайшей большей границы декады, равной целой степени 10. Например: если задать минимум равным -3.5 , максимум равным -3 , число шагов равным 5, то ближайшая большая граница есть -3 ($-3 = \lg 0.001$), величина шага на декаду $10/5 = 2$. В этом случае отображаемыми на графике узлами сетки будут значения частот: 0.000316 ($\lg 0.000316 = -3.5$), 0.0004 , 0.0006 , 0.0008 , 0.001 .

С помощью кнопки “Таблицы” можно вызвать окно с таблицами, где можно увидеть как все рассчитанные значения, по которым построен график, так и минимальные и максимальные значения изображаемых величин.

См. также - построение фазовых портретов, частотных характеристик и годографов.

Фазовый портрет (фазовая траектория)

Для построения фазового портрета выберите пункт главного меню Выполнить/Фазовый портрет или нажмите соответствующую кнопку на панели инструментов.

Для построения фазового портрета в схеме должно быть установлено чётное число контрольных точек. Один фазовый портрет строится по паре контрольных точек (нечётной и чётной), по оси x будут откладываться результаты расчёта в контрольных точках с нечётными номерами, по оси y - с чётными номерами.

Если на вход нелинейного элемента подать синусоидальный сигнал достаточной амплитуды и назначить здесь контрольную точку 1, а на выходе этого нелинейного элемента поставить контрольную точку 2, то построение фазового портрета приведёт к построению статической характеристики этого нелинейного элемента. Стрелка на фазовом портрете указывает направление развития процесса (соответствует возрастанию времени).

Частотные характеристики

Для построения частотных характеристик на входе схемы должен стоять генератор качающейся частоты (ГКЧ), расчёт производится через пункт главного меню Выполнить/Расчёт или с помощью соответствующей кнопки на панели инструментов. Для расчёта схемы должна быть установлена хотя бы одна контрольная точка.

Частотный диапазон и тип(ы) характеристик (АЧХ, ФЧХ, ЛЧХ, АФЧХ), выводимых на экран в графическом виде, задаются как параметры входного элемента – ГКЧ.

Частотные характеристики в цепях с обратными связями программа пока не строит.

При построении ФЧХ, программа может отследить и исключить скачки фазы в 2π . Для этого надо активизировать эту возможность на закладке “Частотн. хар-ки” в настройках пользователя .

На этой же закладке можно задать единицы измерения фазы и частоты.

При одновременном выводе на один график АЧХ (ЛЧХ) и ФЧХ:

- АЧХ (ЛЧХ) рисуется сплошной линией, а ФЧХ пунктиром;
- шкала для АЧХ выводится справа от вертикальной оси, а для ФЧХ – слева;
- сетка может строиться только для АЧХ.

В таблицу с результатами расчёта выводятся значения и для амплитуды (АЧХ или ЛЧХ), и для фазы, независимо от того, какой график выбран для отображения.

Годограф (АФЧХ)

Для построения годографа (АФХ, АФЧХ, годограф Найквиста, диаграмма Найквиста) на входе схемы должен стоять генератор качающейся частоты (ГКЧ), расчёт производится через пункт главного меню Выполнить/Расчёт или с помощью соответствующей кнопки на панели инструментов. Для расчёта схемы должна быть установлена хотя бы одна контрольная точка.

Частотный диапазон и вид характеристики – годограф задаются как параметры входного элемента – ГКЧ. Выбор масштаба характеристики (линейный, логарифмический), как параметра ГКЧ, не влияет на вид годографа.

Стрелка на годографе соответствует направлению возрастания частоты.

Просмотр результатов расчёта в таблице

Для просмотра результатов расчёта в таблице необходимо выполнить сначала сам расчёт, а затем выбрать пункт меню **Окно/Таблица**. Окно с таблицами всегда находится перед основным окном программы, его можно сворачивать.

Таблицу можно просмотреть на закладке **“Результаты расчёта”** в появившемся отдельном окне.

При работе с таблицей возможно прокручивание её по столбцам и строкам, изменение ширины столбцов, изменение размеров окна с таблицей.

На закладке **“Результаты расчёта”** можно наложить фильтр (кнопка **“Фильтр”**) на выводимые в таблицу данные (можно вывести весь диапазон или его часть, все точки подряд или с заданным шагом). Снять наложенный фильтр можно с помощью кнопки **“Снять фильтр”**.

Таблицу с результатами, всю или только часть, можно сохранить в текстовом файле, файле Excel и/или распечатать.

На закладке **“Дополнительные сведения”** окна можно посмотреть минимальные и максимальные значения величин.

Задание названия модели

Для задания названия модели необходимо выбрать пункт меню **Задать/Название модели**. Длина названия не должна превышать 50 символов («лишние» символы автоматически отсекаются после нажатия **ОК** в окне ввода названия).

Название модели отображается в верхней полосе главного окна программы после имени файла модели.

Печать

Печать модели.

Перед тем как распечатывать схему модели необходимо задать область печати, так как на печать выводится только видимое поле окна Редактора. Задание области печати происходит путём изменения размера окна программы и с помощью прокруток в окне Редактора.

Для вывода на печать заданной области Редактора необходимо выбрать пункт меню **Файл/Печать модели**. После выбора принтера, задания ориентации листа бумаги и числа копий нажмите **ОК**.

На печать выводится имя файла (если есть), название модели (если есть), время печати, заданная область со схемой, параметры интегрирования, список элементов всей модели, имеющих параметры, и значения этих параметров (если они заданы). Справа от названия элемента выводится его координата в поле Редактора в формате (№ строки, № столбца).

Печать результатов расчёта и графиков

Печать результатов расчёта и графиков (как и их сохранение в отдельном файле) возможна только при открытых соответствующих окнах (с таблицей или графиками).

При проведении нескольких последовательных расчётов и при открытии нескольких окон с таблицей или графиками на печать выводятся результаты только последнего расчёта (независимо от того, какое из окон было активно последним).

Перед печатью появляется окошко выбора той части таблицы (всей или в заданном диапазоне, все точки подряд или прореженной), которую следует напечатать.

Сохранение результатов расчёта в текстовый файл

Сохранение результатов расчёта доступно через меню Файл/Сохранение результатов расчёта.

Перед началом сохранения появляется окошко выбора сохраняемой части таблицы (всей или в заданном диапазоне, все точки подряд или прореженной).

Затем в открывшемся окне необходимо выбрать формат сохранения как текстовый файл.

Сохранение возможно только при открытом окне с таблицей.

В текстовом файле сохраняются также имя файла модели, название модели, время сохранения.

При проведении нескольких последовательных расчётов и при открытии нескольких окон с таблицей сохраняются результаты только последнего расчёта (независимо от того, какое из окон было активно последним).

Возможно также сохранение результатов в формате MS Excel.

Экспорт результатов расчёта в MS Excel

Экспорт результатов расчёта доступно через меню Файл/Сохранение результатов расчёта.

Перед началом экспорта появляется окошко выбора экспортируемой части таблицы (всей или в заданном диапазоне, все точки подряд или прореженной).

Затем в открывшемся окне необходимо выбрать формат сохранения как файл MS Excel.

Экспорт результатов расчёта возможен только, если на рабочем компьютере установлена программа MS Excel. Если Excel не установлен, сохраните результаты в обычном текстовом файле, который можно будет конвертировать xls-файл средствами MS Excel там, где он установлен.

Экспорт результатов расчёта возможен только при открытом окне с таблицей.

При проведении нескольких последовательных расчётов и при открытии нескольких окон с таблицей экспортируются результаты только последнего расчёта (независимо от того, какое из окон было активно последним).

Экспорт возможен как в новый файл, так и в существующий. В последнем случае, в файл вставляется дополнительный лист. На листе Excel с таблицей сохраняется имя файла модели, название модели, время экспорта.

Если предварительно MS Excel не был открыт, то возможен экспорт как в фоновом режиме, так и с визуализацией приложения.

Возможно также сохранение результатов в формате текстового файла.

Сохранение схемы и графиков как картинки

Сохранение схемы модели как картинки.

Перед тем как сохранить схему модели необходимо задать область для сохранения, так как на сохраняется выводится только видимое поле окна Редактора. Задание области сохранения происходит путём изменения размера окна программы и с помощью прокруток в окне Редактора.

Для сохранения как картинки заданной области Редактора необходимо выбрать пункт меню Файл/Сохранить рисунок схемы. После выбора имени файла и выбора формата (jpg или bmp) нажмите ОК.

Сохранение графиков как картинки.

Сохранение графиков по результатам расчёта как картинки возможно только при открытом окне с графиками. Так как окно с графиками находится всегда перед основным окном программы, то не получится сохранить как картинку графики, развёрнутые на весь экран. Для получения максимальных по размеру картинок с графиками: увеличьте размер окна с графиками до необходимых размеров курсором, сдвигая окно, например, в правый нижний угол, с тем, чтобы не перекрывался доступ к меню. Независимо от того всё окно с графиками видно на экране или нет, на картинке график будет сохранён полностью.

Для сохранения как картинки графиков необходимо выбрать пункт меню Файл/Сохранить графики. После выбора имени файла и выбора формата (jpg или bmp) нажмите ОК.

При проведении нескольких последовательных расчётов и при открытии нескольких окон с графиками сохраняться будет окно с графиками по результатам последнего расчёта (независимо от того, какое из окон было активно последним).

Настройки программы

Для вызова окна настроек программы необходимо выбрать пункт меню Настройки/Пользователя. Окно настроек содержит несколько закладок.

Закладка «Вид и поведение».

Здесь можно поставить галочку и при запуске программа будет разворачиваться на весь экран, а не на его треть, как это происходит по умолчанию.

Так же здесь можно задать положение окна Библиотек относительно окна Редактора: слева или справа в главном окне.

На этой же закладке задаётся то, что пользователь хочет увидеть по окончании расчёта: графики или таблицу, или и то, и другое, или ничего (хотелось бы мне знать, кто ничего не захочет увидеть после расчёта!).

Можно также:

- запретить или разрешить дублирование окон с графиками и таблицами по окончании расчёта.
- запретить или разрешить показывание процента выполнения расчёта (отключение показа может сократить время расчёта примерно на 20%).

Закладка «Методы».

Здесь можно задать порядок некоторых численных методов, используемые при расчёте схемы.

Закладка «Редактор».

Здесь можно задать, будет ли программа запрашивать подтверждение на удаление элемента из схемы или на замену выделенного элемента схемы на элемент из буфера.

Закладка «Цвета графиков».

Здесь можно задать:

- цвета фона под графики;
- цвета координатных осей и сетки;
- последовательность цветов и сами цвета для контрольных точек и соответствующих графиков;
- стиль и толщину линий графиков (толщины более 1 возможны только для сплошных линий);
- стиль и толщину графиков ФЧХ, если они будут выводиться совместно с АЧХ.

После изменений настроек цветов они сразу же вступают в силу, но если в нарисованной схеме уже расставлены точки наблюдения их цвет обновится только после их полного удаления из схемы.

Программа проверяет на совпадение настроек для разных номеров контрольных точек, предупреждает о совпадениях, но не запрещает их.

Закладка «Шкалы».

На этой закладке можно:

- включить или отключить отображение сетки на графиках;

- задать вручную диапазон вывода на график, как по вертикали, так и по горизонтали.

Закладка «Частотн. хар-ки».

Здесь можно задать опции расчёта частотных характеристик:

- единицы измерения фазы (радианы или градусы) и частоты (герцы или радиан в секунду);

- разрешить или запретить отслеживание скачков в 2π для фазовых характеристик.

Изменения на этой закладке приводят к возврату к автоматическому определению диапазона вывода на график, если диапазоны вывода были до этого переключены на ручную установку.

Библиотечные элементы

Все библиотечные элементы разделены на группы: соединения, источники сигналов, линейные элементы, нелинейные элементы, функции. Все элементы в схеме можно разворачивать на 90 градусов в любую сторону.

Соединения.

Это обычные соединения, элемент пересечения соединений, разветвления на 2 и 3 направления, элементы суммирования и вычитания с 2-мя и 3-мя входами, элементы перемножения.

Источники сигнала:

- ступенчатый сигнал;

- синусоидальный сигнал;

- гармонический сигнал;

- линейный нарастающий сигнал;

- одиночный прямоугольный импульс;

- меандр;

- пакет прямоугольных импульсов;

- последовательность прямоугольных импульсов;

- пилообразные положительные импульсы;

- симметричные пилообразные импульсы;

- белый шум;

- треугольные импульсы;

- генератор качающейся частоты (ГКЧ, используется для построения частотных характеристик);

- нулевой сигнал (можно использовать как заглушку входа при отлаживании схем).

Вернуться к содержанию.

Линейные элементы:

- пропорциональное звено (в зависимости от знака и величины коэффициента передачи, это звено может быть усилительным, ослабительным, повторителем, инвертирующим);

- интегрирующее звено;

- дифференцирующее звено;

- звено чистого запаздывания;

- апериодическое (инерционное) звено 1-го порядка;

- форсирующее звено 1-го порядка;
- реальное дифференцирующее звено;
- интегро-дифференцирующее звено;
- реальное интегрирующее звено;
- консервативное звено 2-го порядка;
- инерционное звено 2-го порядка;
- колебательное звено 2-го порядка;
- звено общего вида (передаточная характеристика – отношение двух полиномов);
- ПИД регуляторы двух видов (с различными формами записей передаточных функций).

Нелинейные элементы:

- ограничитель;
- нечувствительность (мёртвая зона).
- ограничитель с нечувствительностью;
- люфт;
- люфт с ограничителем;
- двухпозиционное реле;
- трёхпозиционное реле;
- двухпозиционное реле с гистерезисом;
- трёхпозиционное реле с гистерезисом.

Функции:

- возведение в квадрат;
- извлечение корня из модуля;
- обратная величина;
- возведение модуля в степень;
- синус;
- косинус;
- экспоненциальная функция.

Горячие клавиши программы

Ctrl+N	Создание новой модели
Ctrl+O	Открытие модели из файла
Ctrl+S	Сохранение модели в файл
Ctrl+Q	Выход из программы
Ctrl+X	Вырезать выделенный элемент из схемы
Ctrl+C	Скопировать выделенный элемент из схемы
Ctrl+V	Вставит элемент в выделенную позицию
Del	Удалить выделенный элемент из схемы
Ctrl+Del	Удалить все элементы схемы
Ctrl+J	Поворот выделенного элемента по часовой стрелке
Ctrl+L	Поворот выделенного элемента против часовой стрелке
Ctrl+K	Разворот выделенного элемента на 180 градусов
Ctrl+P	Установить/удалить контрольную точку

Ctrl+E	Задать параметры выделенного элемента схемы
Ctrl+I	Задать параметры интегрирования
Ctrl+H	Выполнить проверку схемы
Ctrl+R	Выполнить расчёт
F1	Вызов справки
F2	Вызов тем справки
F3	О программе.

Решение типичных проблем

Если контрольная точка не устанавливается ...

Если контрольная точка не устанавливается, то этому могут быть следующие объяснения:

- на выбранном элементе невозможно установить контрольную точку в принципе (это элементы – соединения и разветвления и, значит, точку можно установить на выходе предыдущего элемента);
- Вы не выбрали никакого элемента или щёлкаете по пустому месту схемы,
- в схеме уже установлено максимальное число контрольных точек (равное 12).

Не высвечивается кнопка и пункт меню Выполнить/Расчёт.

Проверьте, есть ли контрольные точки в схеме. Расчёт возможен, только если установлена хотя бы одна контрольная точка.

Не высвечивается кнопка и пункт меню Параметры элемента.

Щелкните левой кнопкой мыши по элементу, для которого надо задать параметры. Если для этого элемента можно задать параметры, то соответствующий пункт меню и кнопка активизируются.

Не строятся частотные характеристики.

Построение частотных характеристик возможно только для линейных схем, причём в схеме должен быть единственный источник сигнала – генератор качающейся частоты (ГКЧ).

Вернуться к содержанию. В начало раздела

Скачки фазы в 2π на ФЧХ.

Известно, что фаза определяется с точностью до 2π . При построении ФЧХ, программа может отследить и исключить такие скачки фазы. Для этого надо активизировать эту возможность на закладке “Частотн. хар-ки” в настройках пользователя .

Если всё-таки скачки остались, то необходимо увеличить число точек счёта в параметрах ГКЧ. Это связано с тем, что программа ловит скачки фазы, если они превышают $1.6\pi = 5.03$ радиан = 288 градусов. А при малом числе точек счёта скачки фазы могут быть меньше.

Расчёт прерывается сообщением о переполнении: “Invalid floating point operation”, - или о том, что число точек выше максимального.

Скорее всего, процесс расходится. Вообще, программа пытается отследить такие случаи, и если в какой-то момент результат расчёта превышает $1e12$, то расчёт прерывается, и выдаются результаты по

рассчитанным точкам. Если программа не смогла отследить переполнение, то появляется вышеозначенное сообщение.

Необходимо проверить правильность схемы и её параметров, уменьшить шаг интегрирования. Если это не помогает – высылайте схему автору, он поможет.

Что означает мигающий движок на полосе прокрутки в поле редактора?

Это означает, что движок поймал «фокус» и он теперь будет реагировать на клавиши со стрелками (расположены справа на клавиатуре).

Нет окна библиотек.

Оно появится, если выбрать в меню пункт Окно/Библиотеки.

Нет окна редактора.

Оно появится, если выбрать в меню пункт Окно/Редактор.

Вернуться к содержанию. В начало раздела

Хочется сразу после расчёта схемы увидеть только таблицу (график).

Зайдите через пункт меню Настройки/Пользователя на закладку Вид и выберите желаемый вариант получения результата.

Не сохранит как картинки графики развёрнутые на весь экран.

Да, это так. Так как окно с графиками находится всегда перед основным окном программы, то не получится сохранить как картинку графики, развёрнутые на весь экран. Для получения максимальных по размеру картинок с графиками: увеличьте размер окна с графиками до необходимых размеров курсором, сдвигая окно, например, в правый нижний угол, с тем, чтобы не перекрывался доступ к меню.

Сохранение выполняется обычным способом. Независимо от того всё окно с графиками видно на экране или нет, на картинке график будет сохранён полностью.

При сохранении как картинок графиков и схемы в одном формате программа «ругается» на другой формат.

Если Вы сохраняли картинку в файл с одним из расширений (jpg или bmp), а затем решили сохранить под тем же именем файла, но с другим расширением, то может возникнуть следующая ситуация. Если Вы оставили с именем файла старое расширение от предыдущего сохранения и этот файл существует в папке сохранения, то при нажатии кнопки ОК система выдаст сообщение о перезаписи файла (со старым расширением, хотя Вы выбрали другое). Ничего страшного не случится, даже если Вы разрешите переписать файл, он останется невредимым. А файл в выбранном формате благополучно будет создан.

Такая «заковыка» связана со свойствами системного окна сохранения. Ситуация не случится, если не оставлять старое расширение в имени файла.

Программа зависает. Неожиданное поведение программы.

Перед расчётом сохраните схему, с которой это происходит, в файле. Попробуйте изменить параметры её элементов, попробуйте уменьшить шаг интегрирования, интервал интегрирования.

Возможно, эта ошибка уже исправлена в новой версии программы, проверьте на samsim.fromru.com, samsim.boom.ru, samsim2002.chat.ru или на samsim2002.narod.ru наличие новой версии.

Если не получается, пожалуйста, свяжитесь с разработчиком (samsim2002@mail.ru) и перешлите ему описание проблемы и, по возможности, файл с моделью.

Приложение 3
Расчетно-графическая работа

**Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение высшего
профессионального образования**

**«Самарский Государственный аэрокосмический университет имени
академика С. П. Королёва (национальный исследовательский
университет)»
СГАУ**

Кафедра летательных аппаратов

**Расчетно – графическая работа
по курсу "Теория управления в организационно–
технических системах"**

Выполнил студент группы 1308
Науменко А.В.
Принял Доцент Давыдов Е.И.

(Подпись преподавателя)
" ____ " _____ 2010г.

Самара 2010

Содержание

расчетно – графической работы

по курсу "Теория управления в ОТС"

1. Тема работы.
2. Цель работы.
3. Структурная схема автоматической системы с численными значениями коэффициентов.
4. Преобразование исходной схемы к одноконтурной и определение передаточной функции разомкнутой и замкнутой системы.
5. Нахождение характеристического полинома замкнутой системы.
6. Определение устойчивости системы по:
 - алгебраическому критерию устойчивости Гурвица;
 - частотному критерию устойчивости Михайлова.
7. Используя возможности вычислительной среды SIAM, привести графики переходных функций исходной и скорректированной систем, соответствующих различным коэффициентам усиления разомкнутой системы. Оценить влияние коэффициента усиления разомкнутой системы на устойчивость.
8. Графики логарифмических частотных характеристик (ЛЧХ) (амплитудной ЛЧХ и фазовой ЛЧХ) исходной и скорректированной систем. Определить запас устойчивости по фазе на ЛЧХ.
9. Провести оценку качества процессов управления и коррекции САУ в соответствии с методическими указаниями к лабораторной работе №3.
10. Провести анализ нелинейной системы автоматического управления в соответствии с методическими указаниями №3.
11. Выводы по проделанной работе.

Типовые звенья и их соединения. Характеристики автоматических систем. Анализ устойчивости.

Цель работы: изучить динамические характеристики типовых звеньев и их соединений, а также методы их расчётов. Провести оценку устойчивости САУ.

1. Структурная схема автоматической системы с численными значениями коэффициентов изображена на рисунке 1.

$k_1=1,6$; $k_3=1$; $k_4=1,8$; $k_5=2,3$; $T_2=0,15$; $T_4=0,07$; $T_5=0,6$; $C_5=0,35$.

$W_1(p)=k_1=1,6$;

$W_2(p)=T_2 \cdot p=0,15 \cdot p$;

$W_3(p)=k_3=1$;

$W_4(p)=k_4/(T_4 \cdot p+1)=1,8/(0,07 \cdot p+1)$;

$W_5(p)=k_5/(T_5^2 \cdot p^2+2 \cdot T_5 \cdot C_5 \cdot p+1)=2,3/(0,36 \cdot p^2+0,42 \cdot p+1)$.

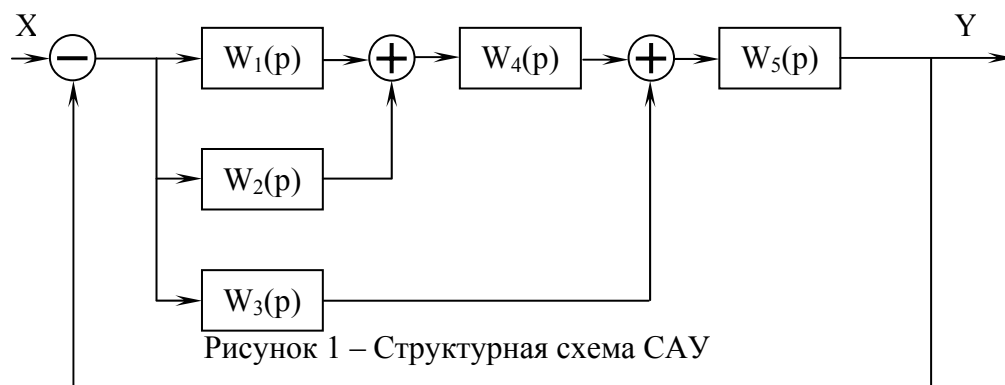


Рисунок 1 – Структурная схема САУ

2. Преобразуем исходную схему к одноконтурной и определим передаточную функцию разомкнутой и замкнутой систем:

$$W_6 = W_{1,2} = W_1 + W_2 = k_1 + T_2 * p,$$

$$W_6 = 1,6 + 0,15 * p,$$

$$W_7 = W_{1,4} = W_6 * W_4 = (k_1 + T_2 * p) \left(\frac{k_4}{T_4 * p + 1} \right) = \frac{k_4 (k_1 + T_2 * p)}{T_4 * p + 1},$$

$$W_7 = \frac{0,07 * p + 1}{1,8(1,6 + 0,15 * p)},$$

$$W_8 = W_7 * W_3,$$

$$W_8 = W_7,$$

$$W_5 = \frac{k_5}{T_5^2 * p^2 + 2 * T_5 * c_5 + 1},$$

$$W_5 = \frac{0,36 * p^2 + 0,42 * p + 1}{2,3}.$$

$$W_5 = 0,36 * p^2 + 0,42 * p + 1.$$

Структурная схема преобразованной САУ изображена на рисунке 2.

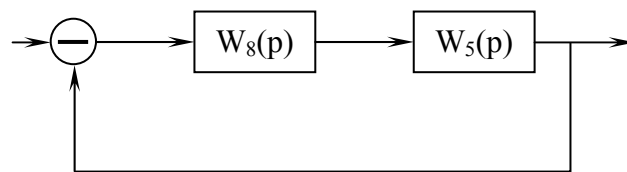


Рисунок 2 – Структурная схема преобразованной САУ

$$W_{раз}(p) = W_8(p) * W_5(p) = \frac{0,025 * p^3 + 0,389 * p^2 + 0,49 * p + 1}{6,624 + 0,621 * p},$$

$$W_{зам} = 1 + W_{раз} = \frac{0,025 * p^3 + 0,389 * p^2 + 1,111 * p + 7,624}{6,624 + 0,621 * p}.$$

3. Характеристический полином замкнутой цепи:

$$0,025 * p^3 + 0,389 * p^2 + 1,111 * p + 7,624 = 0.$$

4. Определим устойчивость по критерию Гурвица:

$$\begin{vmatrix} 0,389 & 7,624 & 0 \\ 0,025 & 1,111 & 0 \\ 0 & 0,389 & 7,624 \end{vmatrix}$$

$$\Delta_1 = 1,111 > 0,$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 0,389 & 7,624 \\ 0,025 & 1,111 \end{vmatrix} = 0,432 - 0,191 = 0,241 > 0,$$

$$\Delta_3 = 7,624 \begin{vmatrix} 0,389 & 7,624 \\ 0,025 & 1,111 \end{vmatrix} = 1,837 > 0,$$

$$a_0 > 0, a_1 > 0, a_2 > 0, a_3 > 0.$$

Данная система является устойчивой по критерию Гурвица.

5. Определим устойчивость системы по критерию Михайлова:

Характеристическое уравнение замкнутой системы имеет вид:

$$a_0 p^3 + a_1 p^2 + a_2 p + a_3 = 0.$$

Произведем замену $p = j\omega$ и выделим вещественную и мнимую части:

$$-a_0 j \omega^3 - a_1 \omega^2 + a_2 j \omega + a_3 = 0,$$

$$P(\omega) = -a_1 \omega^2 + a_3, P(\omega) = -0,389 \omega^2 + 7,624,$$

$$Q(\omega) = -a_0 \omega^3 + a_2 \omega,$$

$$Q(\omega) = -0,025 \omega^3 + 1,111 \omega.$$

Таблица 1 – параметры кривой Михайлова

ω	0	2	4	5	6	7	8	∞
$P(\omega)$	7,624	6	1,4	-2,1	-6,38	-11,44	-17,27	$-\infty$
$Q(\omega)$	0	2	2,844	2,43	1,266	-0,8	-3,912	$-\infty$

График кривой Михайлова изображен на рисунке 3.

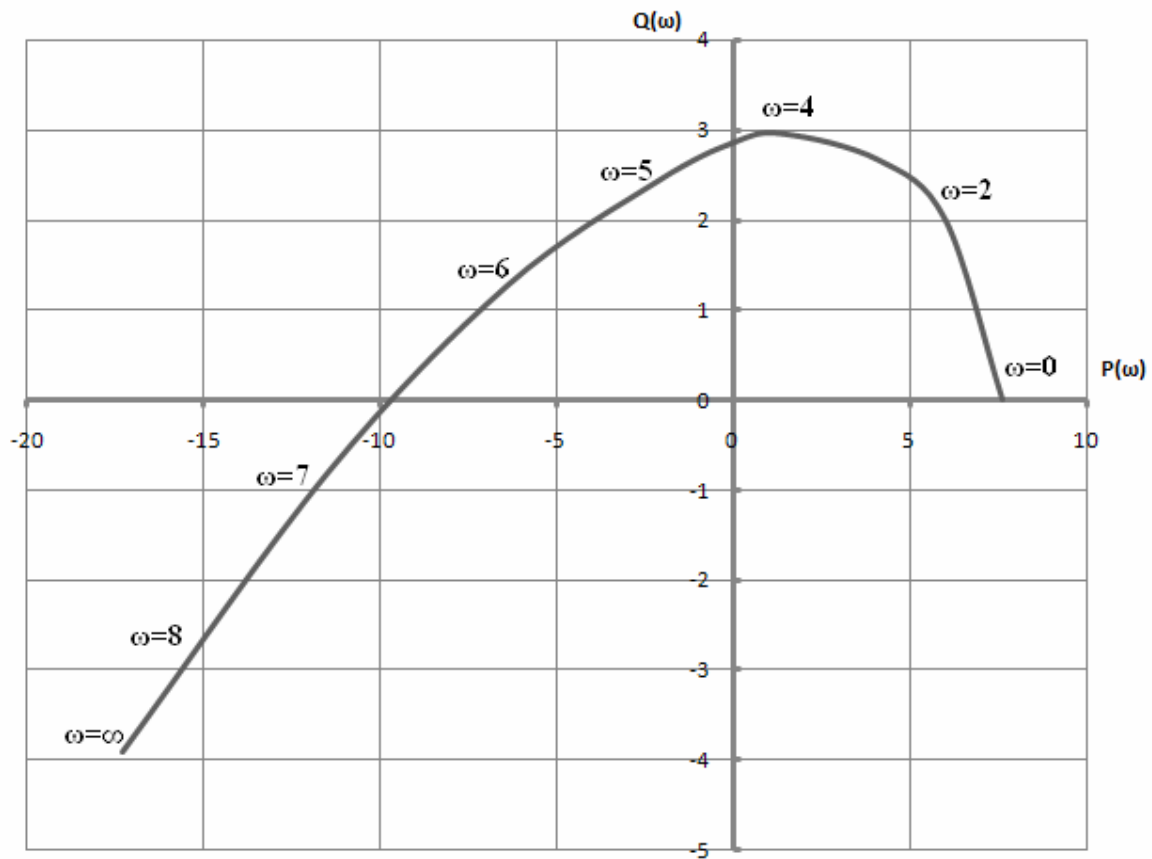


Рисунок 3 – Кривая Михайлова

При изменении ω от 0 до ∞ кривая Михайлова обходит последовательно три квадранта. Следовательно, по правилу Михайлова исследуемая система устойчива.

6. Графики переходных функций исходной и скорректированной системы, соответствующие различным коэффициентам усиления разомкнутой системы.

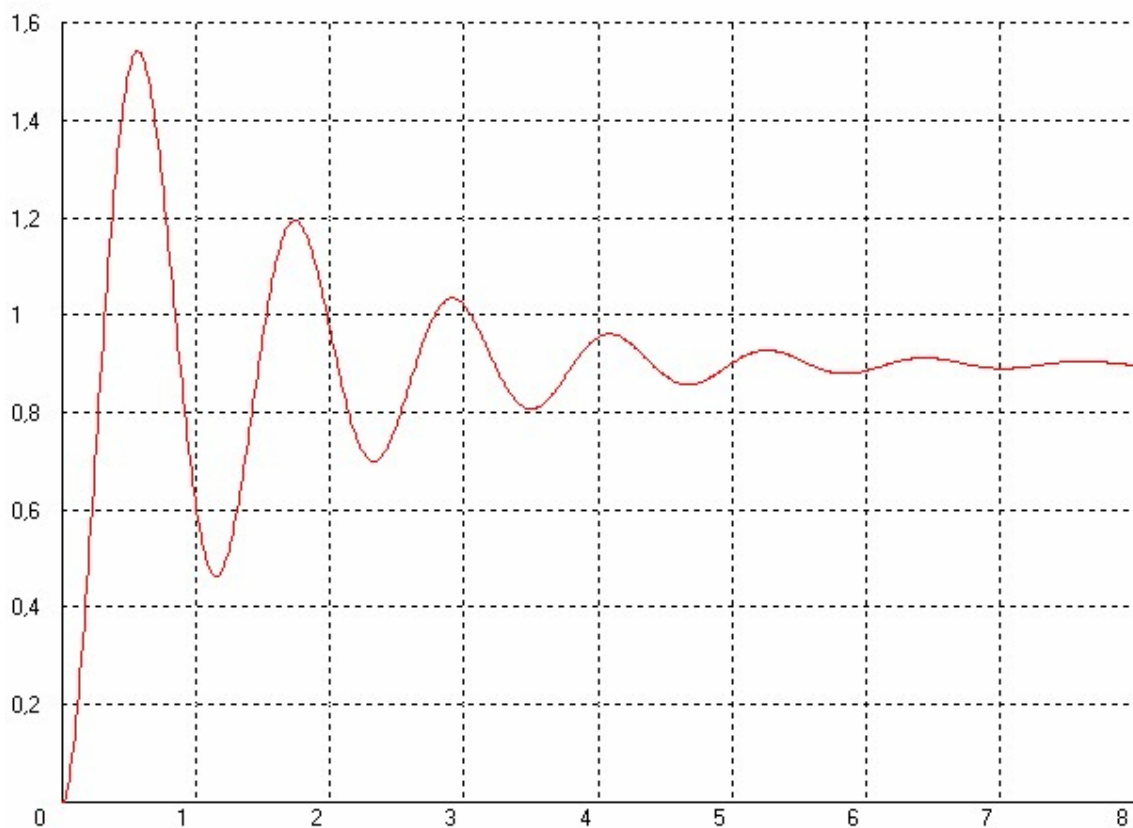


Рисунок 4 – График переходного процесса с коэффициентом усиления $k=8,924$

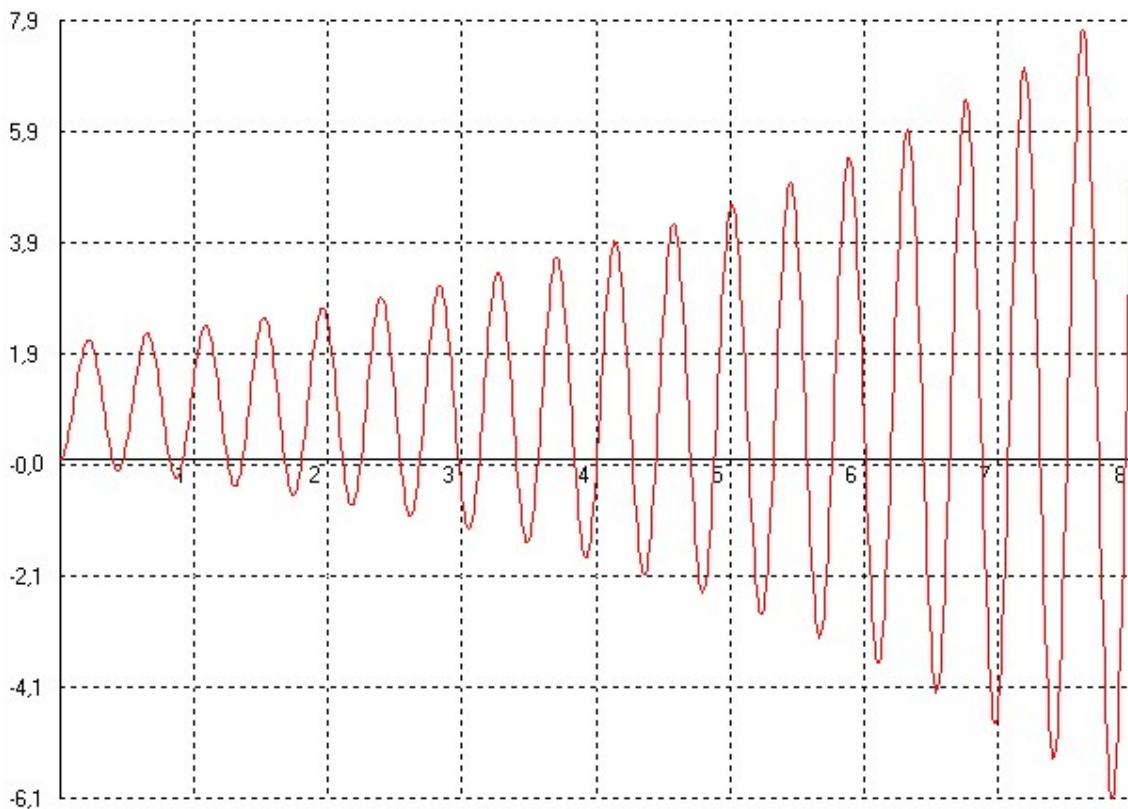


Рисунок 5 – График переходного процесса с коэффициентом усиления $k=60$



Рисунок 6 – График переходного процесса с коэффициентом усиления $k=51,656$
 Исходная САУ является устойчивой. При изменении коэффициента усиления $k=60$ система становится неустойчивой, а при $k=51,656$ она находится на границе устойчивости.

8. Графики логарифмических частотных характеристик (ЛЧХ) исходной и скорректированной систем. Запас устойчивости по фазе.

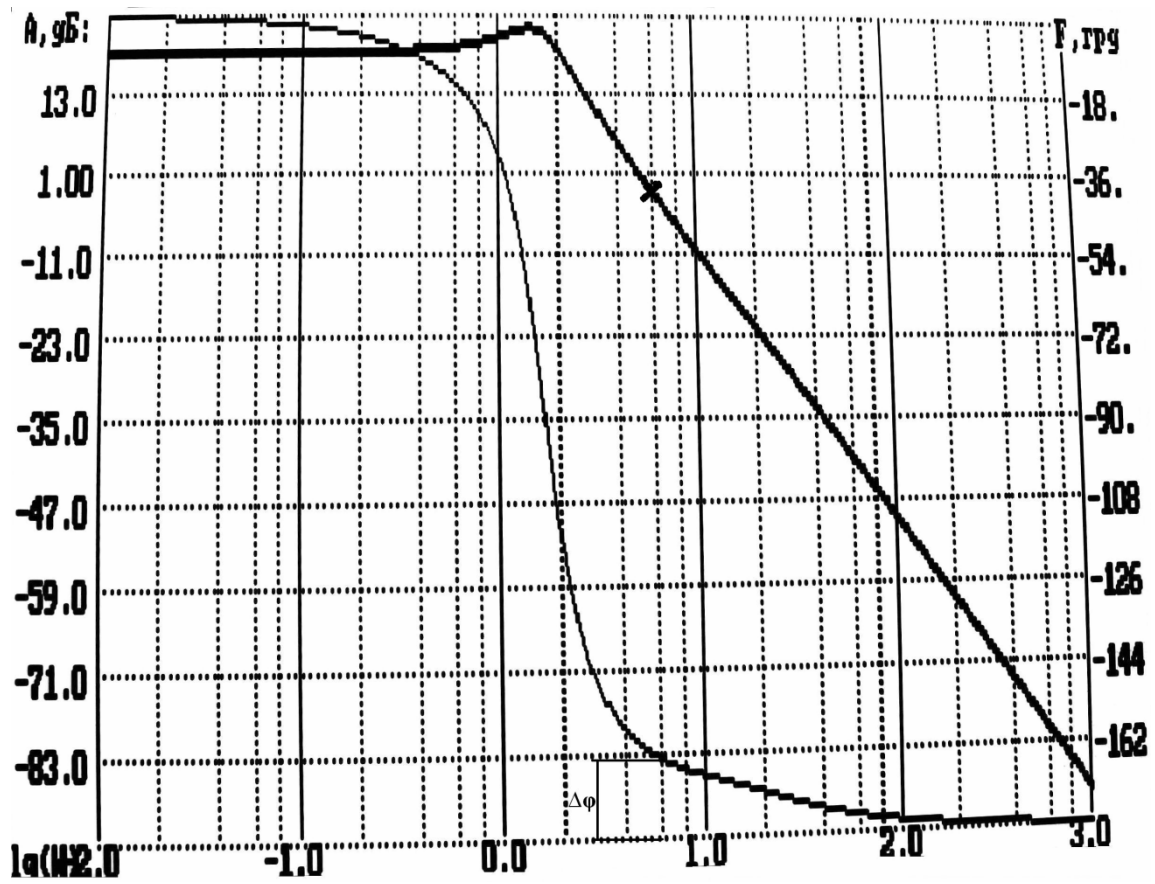


Рисунок 7 – ЛЧХ САУ с коэффициентом усиления $k=8,924$

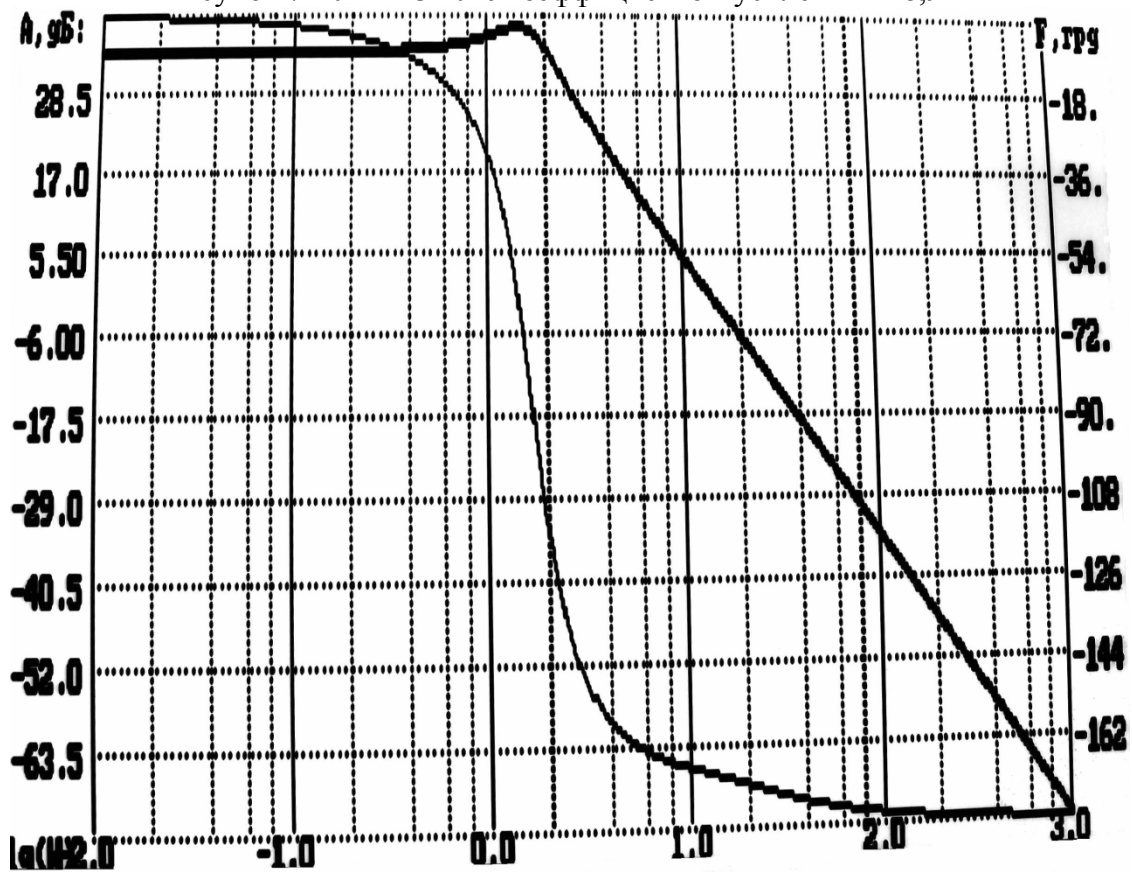


Рисунок 7 – ЛЧХ САУ с коэффициентом усиления $k=51,656$

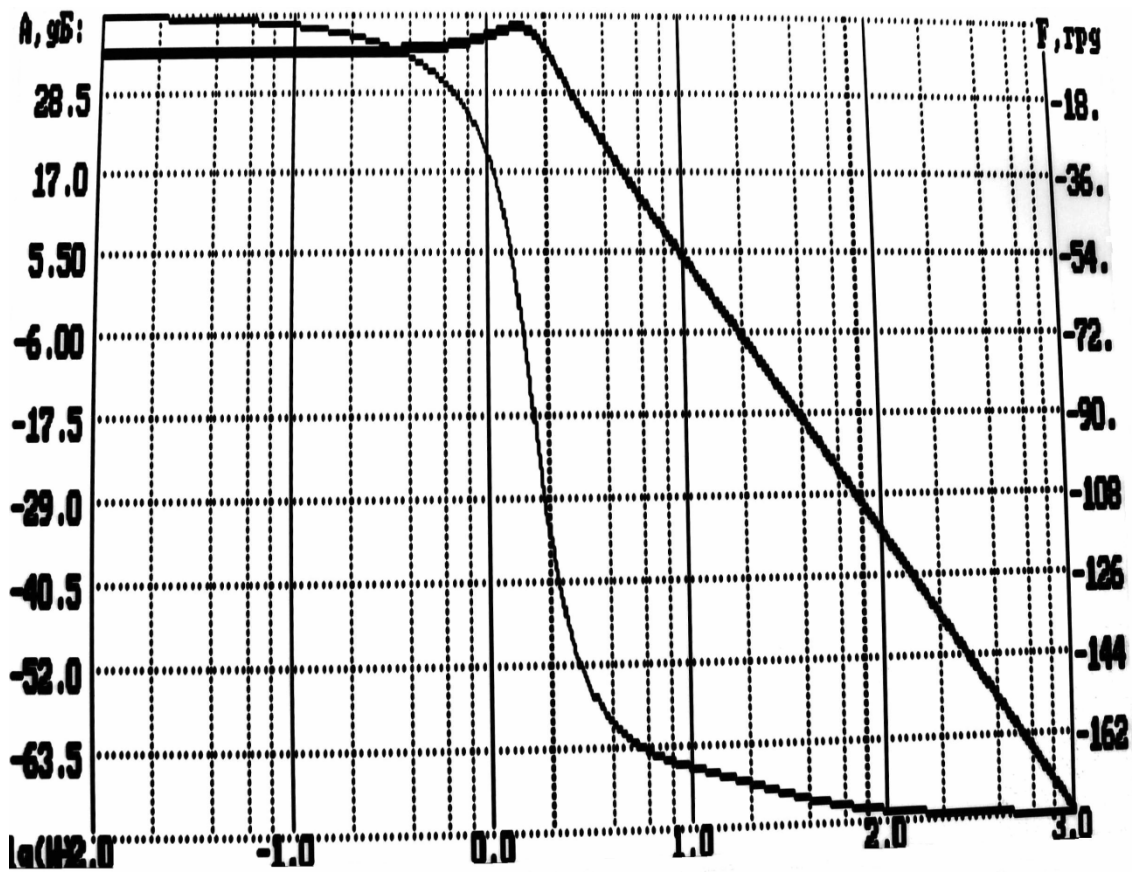


Рисунок 7 – ЛЧХ САУ с коэффициентом усиления $k=60$

9. Оценка качества процессов управления и коррекции САУ.

Структурная схема САУ с численными значениями коэффициентов изображена на рисунке 1.

Структура преобразованной схемы показана на рисунке 2.

График переходного процесса заданной САУ представлен на рисунке 10.

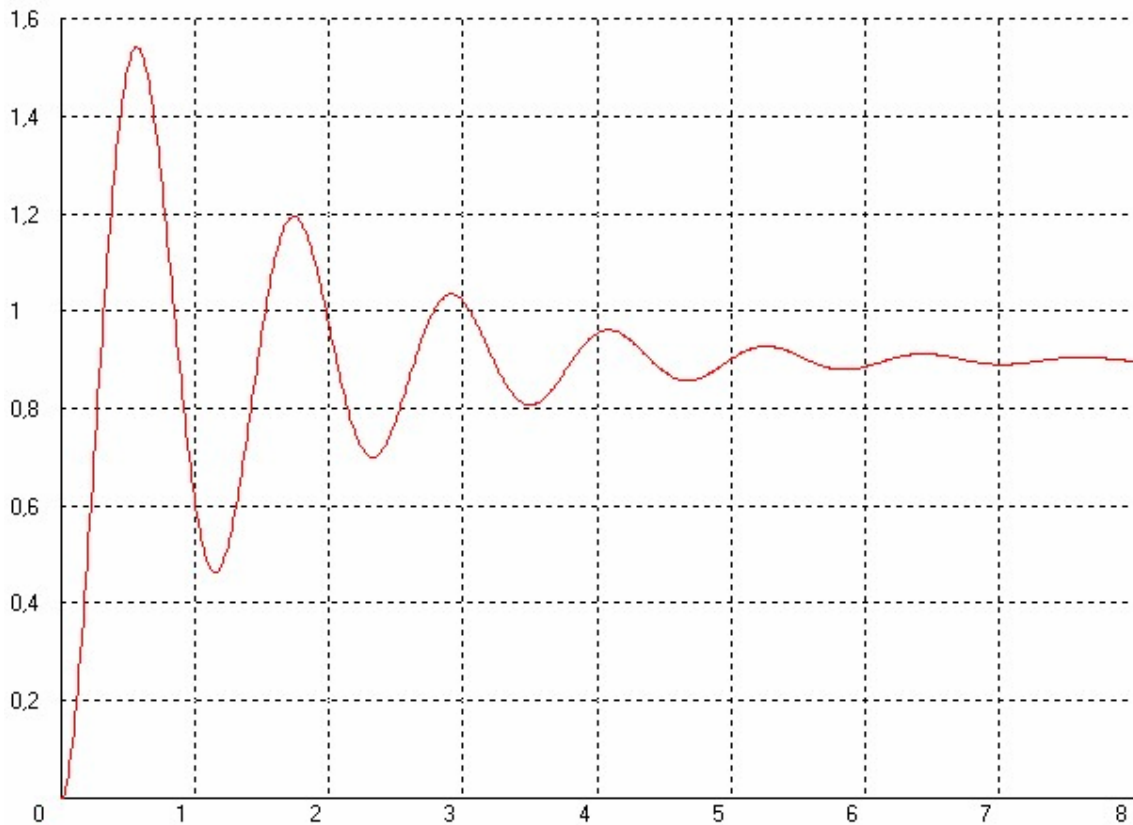


Рисунок 10 – График переходного процесса САУ

$t_{\text{пер}}=8 \text{ с,}$

$$\sigma = \frac{y_{\max} - y_{уст}}{y_{уст}} = \frac{1,55 - 0,9}{0,9} * 100\% = 72\%$$

$$\Delta = \quad = \quad * 100\% = 10\%$$

В схему, приведенную на рисунке 1, введем корректирующий элемент с параметрами. Скорректированная схема изображена на рисунке 11.

$$k_{\text{СК}} = 1,5,$$

$$T_{1\text{СК}} = 0,5 \text{ с},$$

$$T_{2\text{СК}} = 0,01 \text{ с}.$$



Рисунок 11 – Структурная схема скорректированной САУ

График переходного процесса скорректированной САУ приведен на рисунке 12

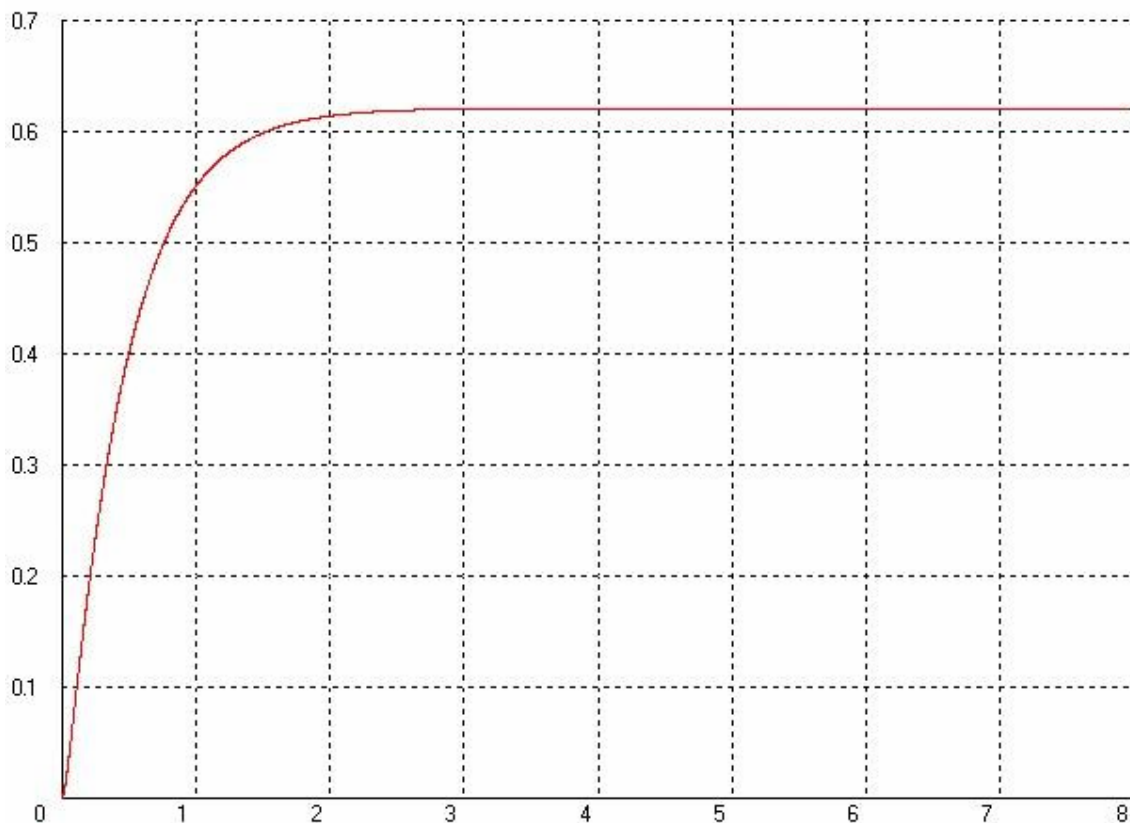


Рисунок 12 – График переходного процесса скорректированной САУ

$$t_{\text{пер}} = 3 \text{ с}.$$

В схему, приведенную на рисунке 13, введем статическое звено с коэффициентом $k_{\text{ос}}$. Подбирая коэффициент усиления, исследуем влияние корректирующего элемента в обратной связи на устойчивость системы. Графики зависимости переходного процесса САУ от корректирующего элемента приведены на рисунках 4, 14, 15, 16.

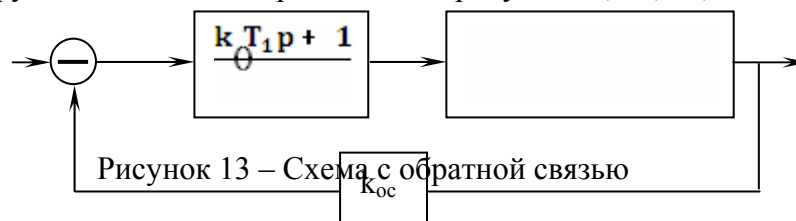


Рисунок 13 – Схема с обратной связью

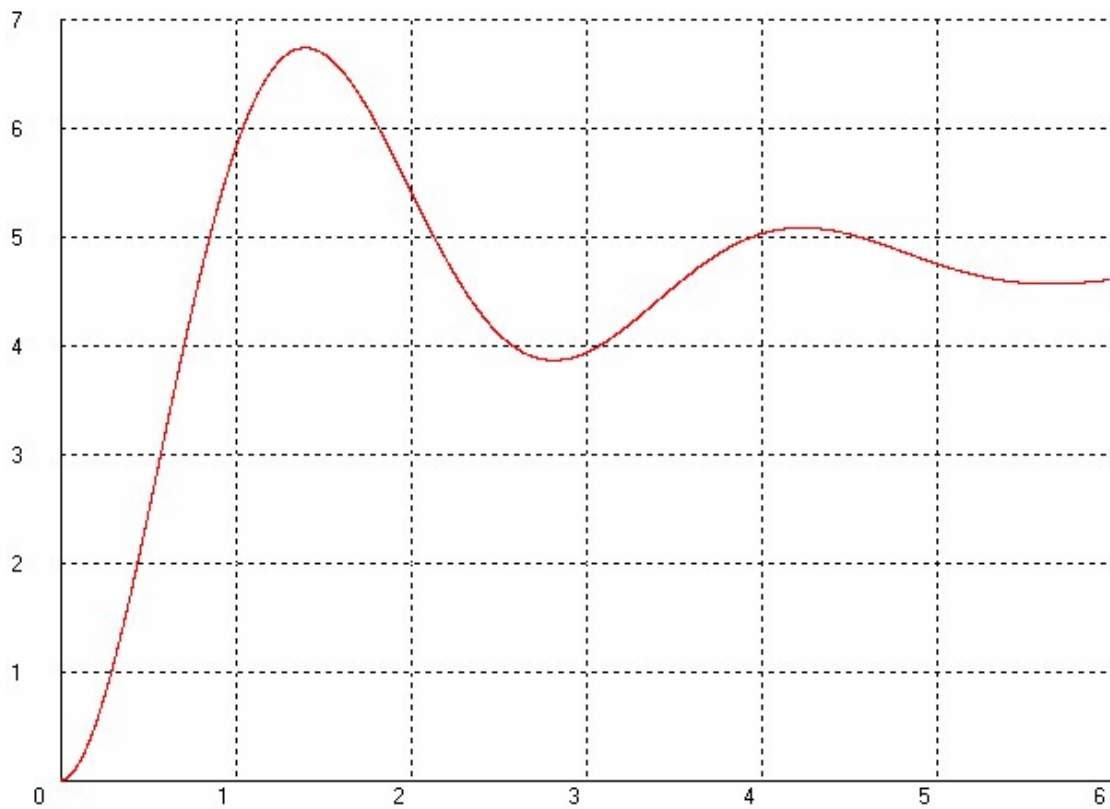


Рисунок 14 – График переходного процесса скорректированной САУ с коэффициентом усиления $k_{oc}=0,1$



Рисунок 15 – График переходного процесса скорректированной САУ с коэффициентом усиления $k_{oc}=42,35$

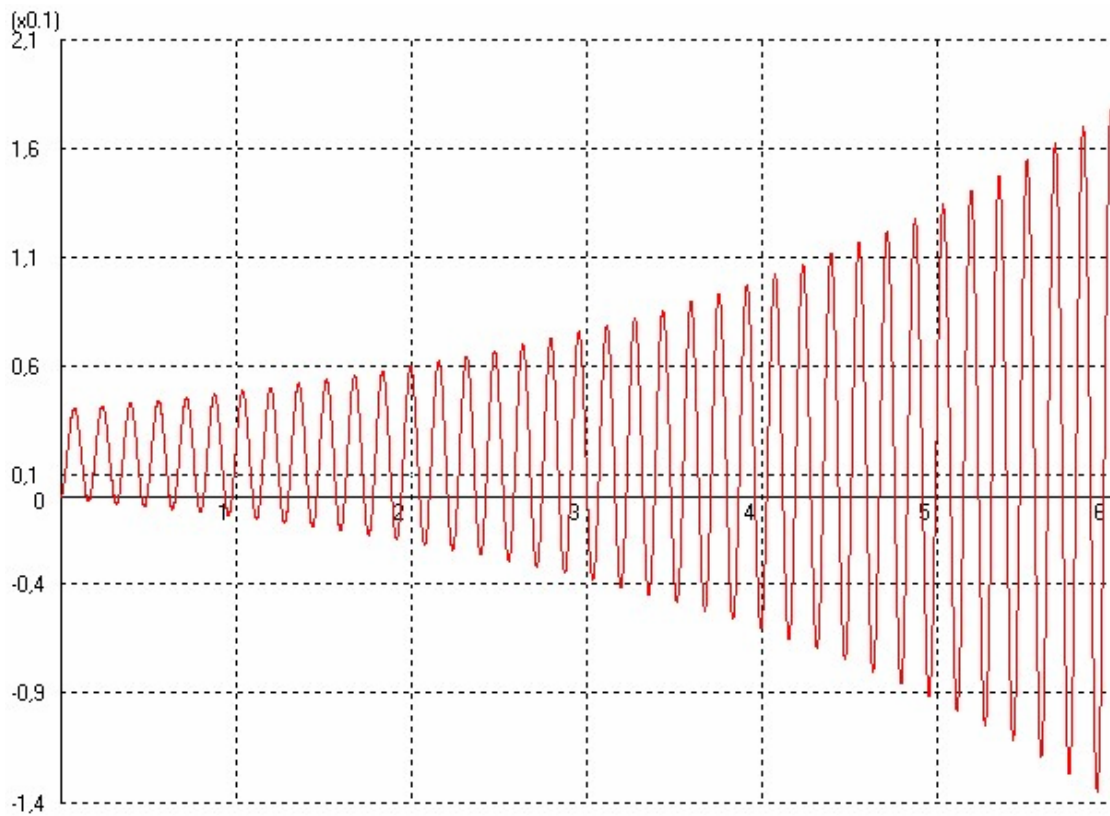


Рисунок 16 – График переходного процесса скорректированной САУ с коэффициентом усиления $k_{oc}=50$

Исходная САУ является устойчивой. При изменении коэффициента усиления $k_{oc}=50$ система становится неустойчивой, при $k_{oc}=0,1$ система устойчива, а при $k_{oc}=42,35$ она находится на границе устойчивости.

10 Анализ нелинейной системы автоматического управления.

Используя возможности вычислительной среды SIAM, наберем структурные схемы показанные на рисунке 17.

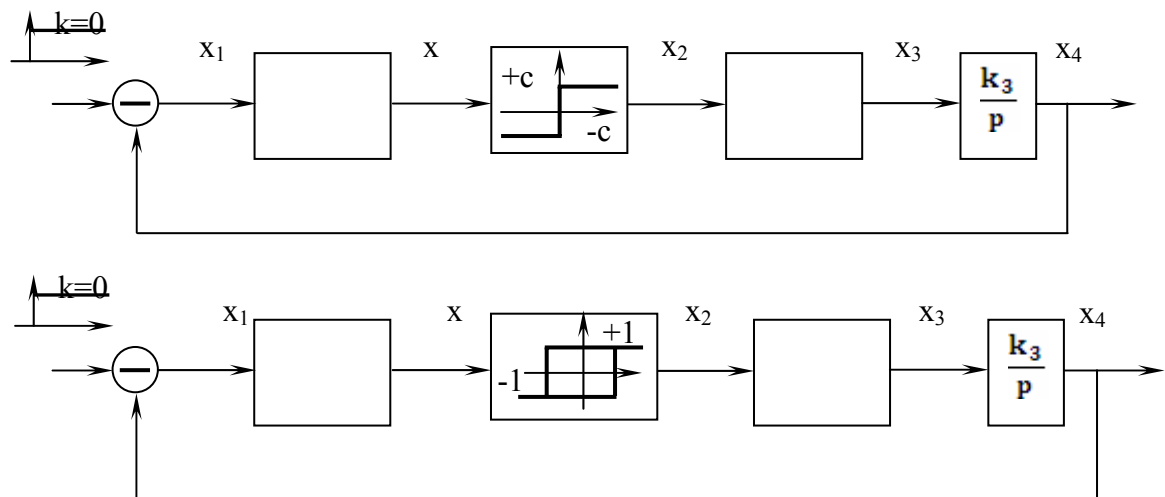


Рисунок 17 – Структурные схемы нелинейной САУ

Исходные данные: $k_1=10$; $T_1=1$ с; $k=5$; $T_2=0,01$ с; $C=10$.

Начальные условия: $X_4(0)=1,0$.

Погрешность интегрирования по методу Фельберга равна 0,001.

Фазовые траектории для схемы с идеальным двухпозиционным реле представлены на рисунке 18, 19.

Фазовые траектории для схемы с идеальным двухпозиционным реле с зоной нечувствительности представлены на рисунке 20, 21.

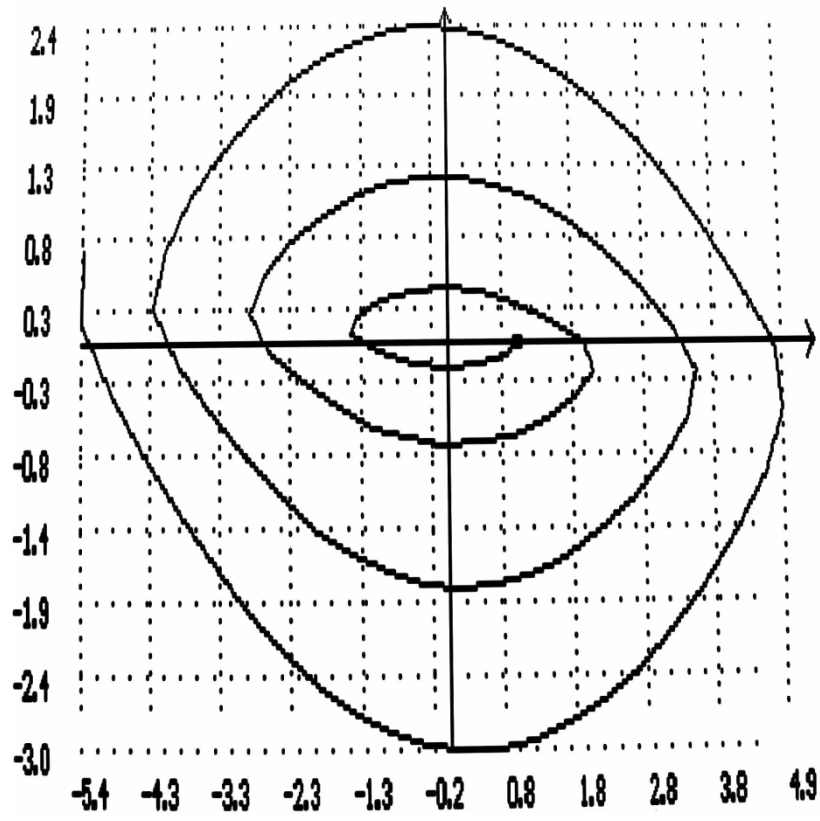


Рисунок 18 – Фазовая траектория для схемы с идеальным двухпозиционным реле при $X_4(0)=1$

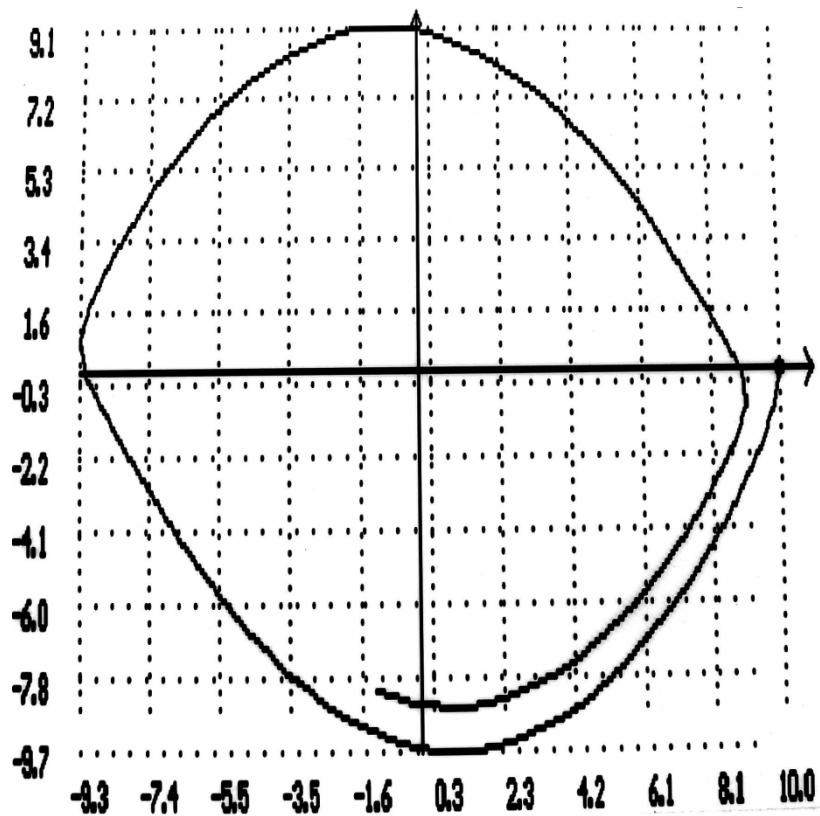


Рисунок 19 – Фазовая траектория для схемы с идеальным двухпозиционным реле при $X_4(0)=10$

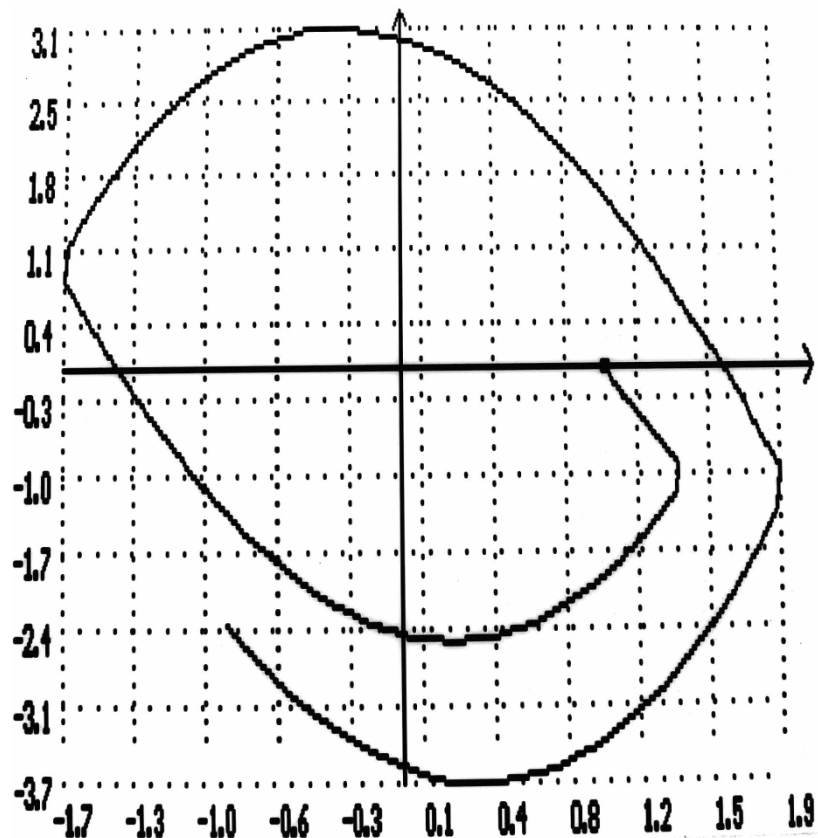


Рисунок 20 – Фазовая траектория для схемы с идеальным двухпозиционным реле с зоной нечувствительности при $X_4(0)=1$

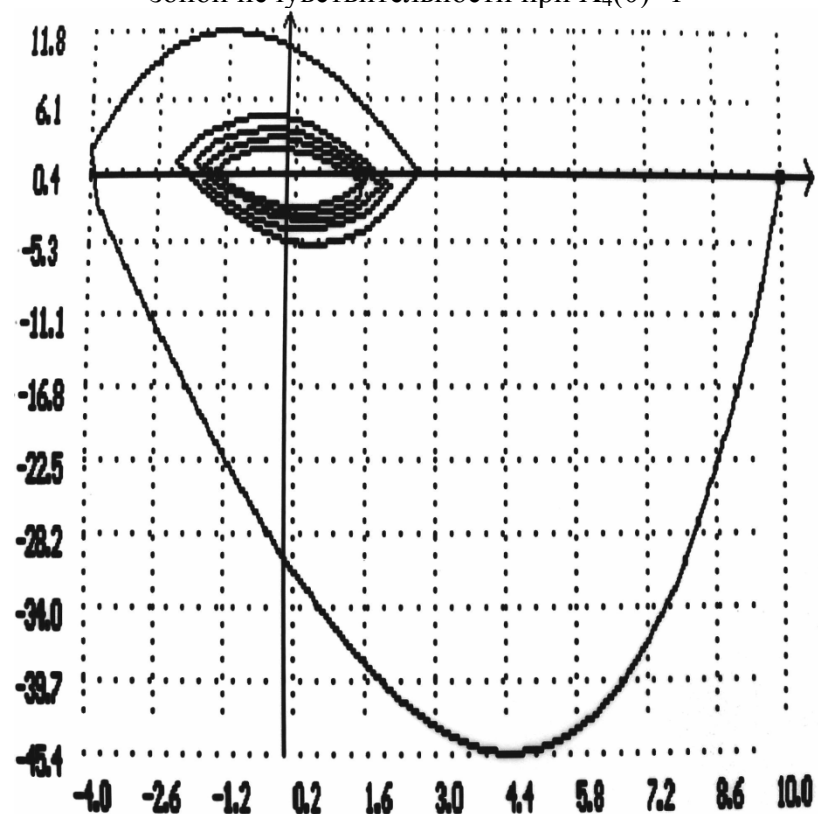


Рисунок 21 – Фазовая траектория для схемы с идеальным двухпозиционным реле с зоной нечувствительности при $X_4(0)=10$

Фазовая траектория для схемы с идеальным двухпозиционным реле неустойчива в малом и устойчива в большом.

Фазовая траектория для схемы с идеальным двухпозиционным реле с зоной нечувствительности устойчива в малом и неустойчива в большом.

11 Вывод по проделанной работе.

Исходная система является устойчивой по критериям Гурвица и Михайлова. Устойчивость системы показана на рисунке 4.

При увеличении коэффициента усиления свыше определенного значения система становится неустойчивой, что показано на рисунке 5. При коэффициенте равном этому значению САУ находится на границе устойчивости.

При введении коэффициента усиления в обратную связь САУ становится неустойчивой при увеличении этого коэффициента свыше определенного значения.

Введение последовательного корректирующего элемента, со значениями параметров $k_{ск}=1,5$, $T_{1ск}=0,5$ с, $T_{2ск}=0,01$ с, приводит к тому что переходной процесс САУ становится монотонным.

Приложение 4

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ БИЛЕТЫ ПО КУРСУ

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Принцип работы и особенности систем автоматического управления.
 2. Функциональная структурная схема системы. Назначение основных элементов. Понятие об управляющем и возмущающем воздействиях и обратной связи.
 3. Классификация систем автоматического управления.
 4. Дифференциальные уравнения элементов и систем автоматического управления.
 5. Типовые (эквивалентные) звенья систем.
 6. Передаточная функция систем автоматического управления.
 7. Передаточные функции основных эквивалентных звеньев.
 8. Типовые воздействия, используемые в системах.
 9. Переходные характеристики. Переходные характеристики типовых звеньев.
 10. Частотные функции и частотные характеристики (амплитудная, фазовая, вещественная, мнимая частотные характеристики).
 11. Логарифмические частотные характеристики (ЛЧХ) типовых звеньев.
 12. Эквивалентные структурные преобразования. Перестановка узлов разветвления и суммирования через элемент.
 13. Типовые соединения элементов. Передаточные функции при различных видах соединения. Свертывание структурных схем.
-
14. Устойчивость линейных автоматических систем. Понятие об устойчивости. Необходимое условие устойчивости. Оценка устойчивости по корням характеристического уравнения.

15. Понятие об устойчивости. Алгебраический критерий устойчивости Гурвица.
 16. Понятие об устойчивости. Алгебраический критерий устойчивости Рауса.
 17. Понятие об устойчивости. Частотный критерий устойчивости Михайлова.
 18. Передаточные функции и дифференциальные уравнения разомкнутой и замкнутой системы автоматического управления.
 19. Понятие об устойчивости. Частотный критерий устойчивости Найквиста.
 20. Запас устойчивости системы. Влияние коэффициента усиления разомкнутой системы на устойчивость системы в замкнутом состоянии.
 21. Определение устойчивости по логарифмическим частотным характеристикам разомкнутой системы. Запас устойчивости по амплитуде и по фазе.
 22. Построение областей устойчивости. Метод **Д** – разбиения. Определение области устойчивости при изменении одного из параметров системы.
 23. Метод **Д** – разбиения. Определение области устойчивости при изменении двух параметров системы.
 24. Качество процессов управления. Показатели качества переходного процесса. Интегральные оценки качества переходных процессов.
 25. Анализ качества переходного процесса по распределению корней характеристического уравнения, по частотным характеристикам замкнутой системы и по ЛЧХ разомкнутой системе.
 26. Коррекция САУ за счет изменения коэффициента усиления разомкнутой системы.
 27. Коррекция САУ последовательным корректирующим элементом.
 28. Коррекция САУ параллельными корректирующими элементами.
-
29. Нелинейные САУ. Общие понятия. Устойчивость в малом, в большом и в целом. Теоремы Ляпунова А.М. об устойчивости.
 30. Нелинейные САУ. Метод фазовых траекторий.
 31. Приближенное исследование нелинейных систем методом гармонической линеаризации.
-
33. Понятия о дискретных САУ. Виды квантования.
 34. Принцип работы импульсных САУ. Понятие импульсной модуляции. Виды импульсной модуляции.

35. Математическое описание импульсных САУ. Решетчатая функция. Дискретное преобразование Лапласа. Z – преобразование.

36. Передаточные функции и дифференциальные уравнения импульсных автоматических систем.

37. Устойчивость импульсных автоматических систем. Условие устойчивости в комплексной плоскости Z . Возможность использования критериев устойчивости.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ БИЛЕТЫ

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

к экзамену по курсу "**Теория управления в ОТС**"
(группа 1308, спец. 230301; 2010\2011 уч. год.)

1. Принцип работы и особенности систем автоматического управления.

2. Понятие об устойчивости. Частотный критерий устойчивости Найквиста.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 2

к экзамену по курсу "**Теория управления в ОТС**"
(группа 1308, спец. 230301; 2010\2011 уч. год.)

1. Функциональная структурная схема системы. Назначение основных элементов. Понятие об управляющем и возмущающем воздействиях и обратной связи.

2. Определение устойчивости по логарифмическим частотным характеристикам. Запас устойчивости по амплитуде и по фазе.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 3

к экзамену по курсу "**Теория управления в ОТС**"
(группа 1308, спец. 230301; 2010\2011 уч. год.)

1. Классификация систем автоматического управления.

2. Построение областей устойчивости. Метод **Д** – разбиения. Определение области устойчивости при изменении одного из параметров системы.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 4

к экзамену по курсу "Теория управления в ОТС"
(группа 1308, спец. 230301; 2010\2011 уч. год.)

1. Дифференциальные уравнения элементов и систем автоматического управления.
2. Метод **Д** – разбиения. Определение области устойчивости при изменении двух параметров системы.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 5

к экзамену по курсу "Теория управления в ОТС"
(группа 1308, спец. 230301; 2010\2011 уч. год.)

1. Типовые (эквивалентные) звенья систем.
2. Запас устойчивости системы. Влияние коэффициента усиления разомкнутой системы на устойчивость системы в замкнутом состоянии.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 6

к экзамену по курсу "Теория управления в ОТС"
(группа 1308, спец. 230301; 2010\2011 уч. год.)

1. Передаточная функция систем автоматического управления.
2. Коррекция САУ за счет изменения коэффициента усиления разомкнутой системы.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 7

к экзамену по курсу "Теория управления в ОТС"
(группа 1308, спец. 230301; 2010\2011 уч. год.)

1. Передаточные функции основных эквивалентных звеньев.
2. Коррекция САУ последовательным корректирующим элементом.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 8

к экзамену по курсу "Теория управления в ОТС"
(группа 1308, спец. 230301; 2010\2011 уч. год.)

1. Типовые воздействия, используемые в системах.
2. Приближенное исследование нелинейных систем методом гармонической линеаризации.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 9

к экзамену по курсу "Теория управления в ОТС"
(группа 1308, спец. 230301; 2010\2011 уч. год.)

- 1.Переходные характеристики. Переходные характеристики типовых звеньев.
- 2.Коррекция САУ параллельными корректирующими элементами.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 10

к экзамену по курсу "Теория управления в ОТС"
(группа 1308, спец. 230301; 2010\2011 уч. год.)

- 1.Частотные функции и частотные характеристики (амплитудная, фазовая, вещественная, мнимая частотные характеристики).
- 2.Качество процессов управления. Показатели качества переходного процесса. Интегральные оценки качества переходных процессов.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 11

к экзамену по курсу "Теория управления в ОТС"
(группа 1308, спец. 230301; 2010\2011 уч. год.)

- 1.Логарифмические частотные характеристики (ЛЧХ) типовых звеньев.
- 2.Запас устойчивости системы. Влияние коэффициента усиления разомкнутой системы на устойчивость системы в замкнутом состоянии.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 12

к экзамену по курсу "Теория управления в ОТС"
(группа 1308, спец. 230301; 2010\2011 уч. год.)

1. Эквивалентные структурные преобразования. Перестановка узлов разветвления и суммирования через элемент.
- 2.Понятия о дискретных САУ. Виды квантования.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 13

к экзамену по курсу "Теория управления в ОТС"
(группа 1308, спец. 230301; 2010\2011 уч. год.)

1. Типовые соединения элементов. Передаточные функции при различных видах соединения. Свертывание структурных схем.
2. Принцип работы импульсных САУ. Понятие импульсной модуляции. Виды импульсной модуляции.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 14

к экзамену по курсу "Теория управления в ОТС"
(группа 1308, спец. 230301; 2010\2011 уч. год.)

1. Типовые воздействия, используемые в системах.
2. Устойчивость линейных автоматических систем. Понятие об устойчивости. Необходимое условие устойчивости. Оценка устойчивости по корням характеристического уравнения.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 15

к экзамену по курсу "Теория управления в ОТС"
(группа 1308, спец. 230301; 2010\2011 уч. год.)

1. Классификация систем автоматического управления.
2. Понятие об устойчивости. Алгебраический критерий устойчивости Гурвица.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 16

к экзамену по курсу "Теория управления в ОТС"
(группа 1308, спец. 230301; 2010\2011 уч. год.)

1. Функциональная структурная схема системы. Назначение основных элементов. Понятие об управляющем и возмущающем воздействиях и обратной связи.
2. Математическое описание импульсных САУ. Решетчатая функция. Дискретное преобразование Лапласа. Z – преобразование.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 17

к экзамену по курсу "Теория управления в ОТС"
(группа 1308, спец. 230301; 2010\2011 уч. год.)

1. Понятие об устойчивости. Частотный критерий устойчивости Михайлова.
2. Передаточные функции и дифференциальные уравнения импульсных автоматических систем.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 18

к экзамену по курсу "Теория управления в ОТС"
(группа 1308, спец. 230301; 2010\2011 уч. год.)

1. Передаточные функции и дифференциальные уравнения разомкнутой и замкнутой системы автоматического управления.
2. Устойчивость импульсных автоматических систем. Условие устойчивости в комплексной плоскости Z . Возможность использования критериев устойчивости.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 19

к экзамену по курсу "Теория управления в ОТС"
(группа 1308, спец. 230301; 2010\2011 уч. год.)

1. Передаточная функция систем автоматического управления.
2. Нелинейные САУ. Общие понятия. Устойчивость в малом, в большом и в целом. Теоремы Ляпунова А.М. об устойчивости.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 20

к экзамену по курсу "Теория управления в ОТС"
(группа 1308, спец. 230301; 2010\2011 уч. год.)

1. Анализ качества переходного процесса по распределению корней характеристического уравнения, по частотным характеристикам замкнутой системы и по ЛЧХ разомкнутой системе.
2. Нелинейные САУ. Метод фазовых траекторий.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 21

к экзамену по курсу "Теория управления в ОТС"
(группа 1308, спец. 230301; 2010\2011 уч. год.)

1.Переходные характеристики. Переходные характеристики типовых звеньев.

2.Понятие об устойчивости. Алгебраический критерий устойчивости Рауса.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 22

к экзамену по курсу "Теория управления в ОТС"
(группа 1308, спец. 230301; 2010\2011 уч. год.)

1.Типовые соединения элементов. Передаточные функции при различных видах соединения. Свертывание структурных схем.

2.Понятие об устойчивости. Частотный критерий устойчивости Михайлова.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 23

к экзамену по курсу "Теория управления в ОТС"
(группа 1308, спец. 230301; 2010\2011 уч. год.)

1.Принцип работы и особенности систем автоматического управления.

2.Устойчивость линейных автоматических систем. Понятие об устойчивости. Необходимое условие устойчивости. Оценка устойчивости по корням характеристического уравнения.