

2587¹ А
МИНИСТЕРСТВО
ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Государственное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ "МАМИ"

А.А. Мельников, А.А. Лавриков, Д.О. Варламов

**ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО
УПРАВЛЕНИЯ**

Методические указания к лабораторным работам по дисциплине
"Теория автоматического управления"
для студентов специальности
140607.65 "Электрооборудование автомобилей и тракторов"

Одобрено методической комиссией по специальности
«Электрооборудование автомобилей и тракторов»

БИБЛИОТЕКА
МГТУ МАМИ
УЧЕБНЫЙ ФОНД

25
МОСКВА 2012

629.113-585 2 52/0757
+ 681.5.07/0757
Разработано с соответствием с Государственным
образовательным стандартом ВПО 2000г. для специальности
подготовки 140607.65 «Электрооборудование автомобилей и
тракторов» на основе рабочей программы дисциплины «Теория
автоматического управления»

Рецензенты: Профессор кафедры «АТЭ» Малеев Р.А.
Доцент кафедры «ЭКЭМС» Коробченко В.П.

Работа подготовлена на кафедре «Автотракторное
электрооборудование»

В методических указаниях рассматривается исследование статических и
динамических свойств линейных звеньев САУ.

Исследование систем автоматического управления: методические
указания / А.А. Мельников, А.А. Лавриков, Д.О. Варламов – М.:
МГТУ «МАМИ», 2012. - 31с.

© А.А. Мельников и др., 2012
© МГТУ «МАМИ», 2012

Москва 2012г.

1. Общие методические указания по выполнению лабораторных работ на персональных электронно- вычислительных машинах

Перед началом работ каждый студент должен ознакомиться с
инструкцией по технике безопасности при работе на ПЭВМ и
расписаться в контрольном листе. При выполнении работы студент
должен бережно относиться к оборудованию, не допускать
ситуаций влекущих к выходу из строя элементов ПЭВМ и не
включать программы, предназначенные для решения других задач.

1. Лабораторные работы выполняются бригадами не более 4
человек.
2. Каждый студент должен заранее подготовиться к
выполнению лабораторной работы, изучив описание
работы и рекомендуемую литературу, подготовить
конспект по лабораторной работе в соответствии с
указаниями по предварительной подготовке к данной
работе.
3. Перед началом работы со студентами проводится краткое
собеседование по содержанию лабораторной работы.
Недостаточно подготовленные студенты не допускаются к
выполнению лабораторной работы. Приступать к
выполнению лабораторной работы можно только с
разрешения преподавателя или лаборанта.
4. При выполнении лабораторной работы целесообразно
придерживаться порядка, указанного в разделе "Методика
проведения исследования", приведенного в описании
данной работы. Необходимо фиксировать дату проведения
лабораторной работы.
5. После выполнения работ каждый студент должен
представить преподавателю полученные
экспериментальные данные для проверки и подписи.
Только в этом случае лабораторная работа считается
выполненной. После этого студенты приводят рабочее
место в надлежащий порядок.

6. К следующему занятию каждый студент должен представить письменный отчет по проделанной на предыдущем занятии работе, который выполняется на скрепленных вместе листах формата А4. Отчет должен удовлетворять всем требованиям, указанным в разделе "Содержание отчета" описания выполненной лабораторной работы. При отсутствии отчета по лабораторной работе, подписанного преподавателем, студент не допускается к защите данной лабораторной работы.

2. Пояснения к лабораторным работам

2.1. Теоретические положения

В лабораторных работах исследуются системы автоматического управления (САУ) и их элементы. Электронное учебное пособие позволяет исследовать математическую модель элемента (звена) или системы автоматического управления прямым способом. Результаты исследования в виде графиков и других характеристик выводятся на экран монитора ПЭВМ.

Частным случаем систем управления являются системы автоматического регулирования (САР). В САР, как правило, регулирование ведется по одному параметру. САР называется системой управления, в которой выходная величина (параметр) поддерживается в заданных пределах. В зависимости от поведения задающего воздействия различают системы стабилизации, программного управления и следящие системы.

Основной и исчерпывающей моделью любой системы управления или ее элемента является дифференциальное уравнение. На практике все системы и большинство их элементов описываются нелинейными дифференциальными уравнениями, что связано с нелинейными характеристиками элементов. Для облегчения исследования систем используют линеаризацию характеристик элементов. Однако это возможно только в определенных пределах.

Целью исследования систем автоматического управления является определение их характеристик. Любая САУ характеризуется, прежде всего, устойчивостью. Устойчивость – это свойство САУ возвращаться в исходный или близкий к нему режим всякий раз после выхода из него. Характеристики САУ подразделяются на временные (переходная характеристика) и частотные.

Переходная характеристика (зависимость выходной величины от времени) – это реакция элемента системы на единичное ступенчатое воздействие. Она находится путем решения дифференциального уравнения при нулевых начальных условиях и скачкообразном изменении входного сигнала. Однако, решение дифференциальных уравнений выше третьего порядка сложная математическая задача.

Существуют два способа определения динамических характеристик системы или их элементов: прямой, который предполагает решение дифференциального уравнения и нахождения всех характеристик, и косвенный, в котором решение дифференциального уравнения заменяется различными математическими и логическими процедурами, позволяющими судить о динамических свойствах системы. Вся теория автоматического управления направлена на разработку таких приемов.

Современные средства вычислительной техники и их математическое программное обеспечение позволяют решать задачу устойчивости и качества регулирования прямыми методами. Поэтому в данном электронном пособии по лабораторным работам исследования выполняются прямым методом. Это облегчает проведение исследования и экономит значительное время исследователя.

Исследование системы автоматического регулирования может быть проведено экспериментально на материальном объекте. Для этого на вход системы подают стандартное входное воздействие, как правило, в виде ступенчатого единичного сигнала, и наблюдают изменение выходного сигнала. В системе, до этого находившейся в установившемся состоянии, начнется переходной

процесс. По поведению выходного сигнала можно оценить динамические свойства системы. Можно отметить несколько характерных переходных процессов, среди которых наиболее часто встречаются апериодический и колебательный процессы. Переходной процесс может иметь три разновидности: сходящийся (затухающий) в устойчивых САУ, расходящийся в неустойчивых САУ и незатухающий в САУ, находящейся на границе устойчивости.

К косвенным методам исследования систем относятся методы построения амплитудно-фазовых характеристик и других характеристик с использованием передаточных функций системы и её элементов.

Для исследования нелинейных систем автоматического регулирования нашел применение метод фазового пространства.

2.1.1. Метод фазового пространства

Фазовым пространством называется многомерное пространство, координатами которого является переменная величина системы, скорость изменения переменной и значения ее ускорений соответствующих порядков. В системах управления переменной является обычно регулируемая величина. Если система управления описывается уравнением n -го порядка, то ее состояние можно характеризовать положением в фазовом пространстве некоторой точки M , которую принято называть изображающей точкой, в n -мерном фазовом пространстве. При изменении состояния САУ в процессе управления меняется положение изображающей точки в фазовом пространстве.

Траектория этого перемещения называется фазовой траекторией. Она показывает все фазы движения САУ.

Фазовое пространство и фазовые траектории, таким образом, дают геометрическое представление о динамике процессов, происходящих в системе автоматического управления. Совокупность всех фазовых траекторий возможных в конкретной САУ называют ее *фазовым портретом*.

В этом геометрическом представлении динамики САУ координаты времени отсутствуют. Время отражено лишь в

неявном виде, поэтому фазовая траектория не дает представления о протекании переходного процесса во времени, а может служить лишь качественной характеристикой переходного процесса. В некоторых случаях этого бывает достаточно для определенного суждения о поведении системы. В тех же случаях, когда этого оказывается недостаточно, по фазовой траектории можно построить кривую переходного процесса во времени простым приближенным графическим методом или интегрированием уравнений фазовых траекторий, если это не связано со значительными математическими трудностями.

Для практических расчетов пользование многомерным фазовым пространством связано с рядом математических трудностей. В силу этого при анализе САУ обычно ограничиваются двухмерной фазовой плоскостью.

Метод фазовой плоскости достаточно прост и отличается большой наглядностью.

На фазовой плоскости по оси абсцисс откладывается значение одной из переменных x_1 (обычно отклонение регулируемой величины от заданного значения) и скорость ее изменения $x_2 = dx_1 / dt$. Состояние системы регулирования, описываемой уравнением второго порядка, в каждый момент времени определяется значениями x_1 и x_2 и, следовательно, может быть охарактеризовано положением изображающей точки M на фазовой плоскости. С течением времени в переходном процессе значения x_1 и x_2 будут изменяться и, следовательно, изображающая точка будет занимать различные положения на фазовой плоскости. Перемещение изображающей точки на фазовой плоскости по той или иной фазовой траектории, очевидно, дает возможность судить о характере исследуемого переходного процесса.

Рассмотрим возможные виды фазовых траекторий, для наглядности связывая их построение с рассмотрением переходного процесса.

Если корни характеристического уравнения чисто мнимые $\lambda_{1,2} = \pm j\beta$, то процесс, соответствующий приближенному

линеаризованному уравнению, будет представлять собой незатухающую гармоническую кривую с постоянной частотой $\omega = 1/T$ и амплитудой A_m (рис. 1.1,а).

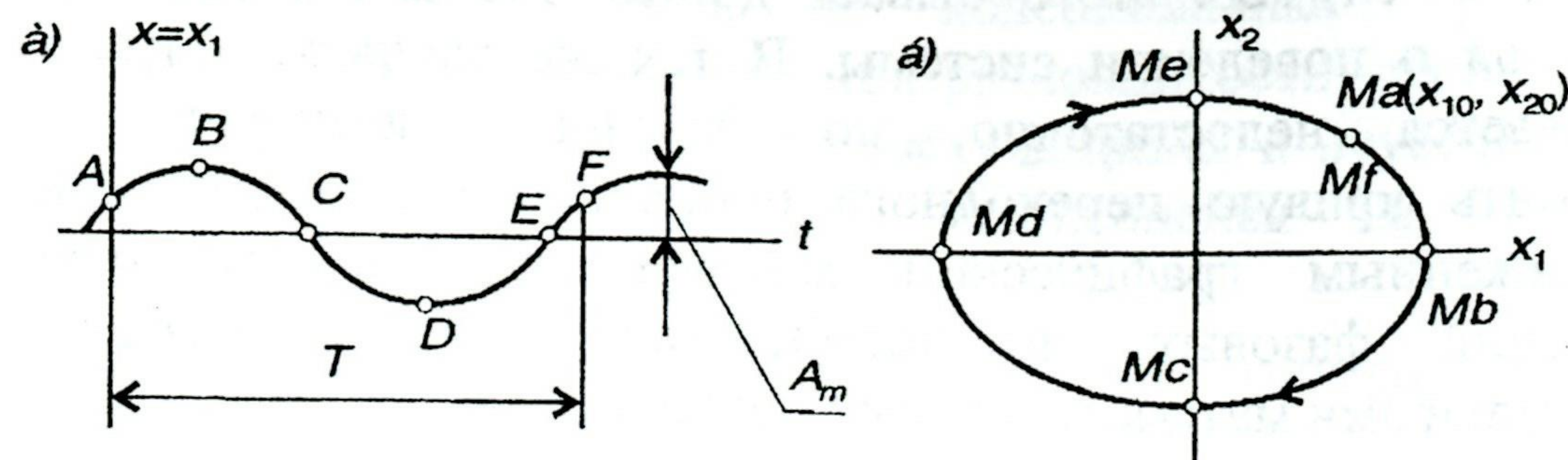


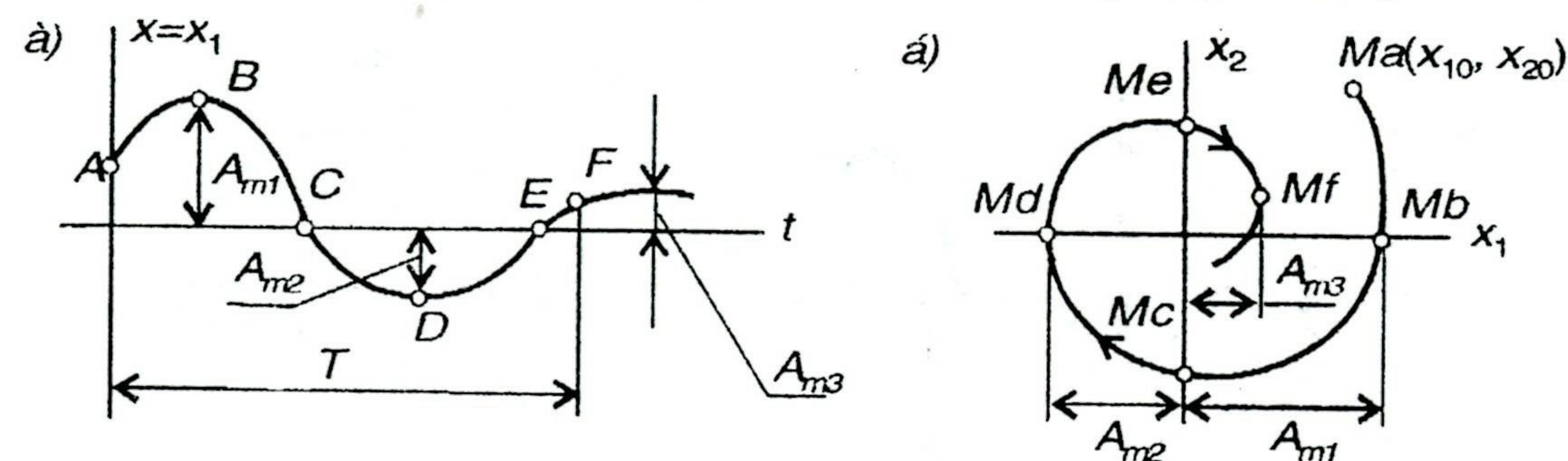
Рис. 1.1. Незатухающий колебательный процесс: а – процесс во времени; б – изображение процесса на фазовой плоскости

Тогда начальная точка переходного процесса $x_1(t)$ может быть изображена на фазовой плоскости x_1, x_2 в виде определенной точки Ma (рис. 1.1,б) с координатами x_{10}, x_{20} . На участке процесса АВ (рис. 1.1,а) отклонение параметра x_1 увеличивается, а его скорость x_2 уменьшается. Это положение на фазовой плоскости будет отражаться участком $MaMb$ фазовой траектории, как это показано на рис. 1.1,б. Точка Mb фазовой траектории соответствует точке В процесса. Рассматривая процесс на участке ВС, видим, что здесь отклонение x_1 уменьшается, а его скорость x_2 возрастает, но имеет отрицательное значение. Это положение на фазовой плоскости будет отражаться в виде фазовой траектории на участке $MbMc$. Продолжая подобные рассуждения, можно точки D, E, F процесса отобразить соответствующими изображающими точками Md, Me, Mf на фазовой плоскости. По окончании одного периода колебаний T при условии, если колебания происходят с постоянной амплитудой A_m , система в точке F (рис. 1.1,а) будет иметь те же значения отклонения x_1 и его скорости x_2 , что и в точке A , следовательно, на фазовой плоскости изображающая точка Mf будет совпадать с точкой Ma . В этом случае фазовая траектория будет представлять собой замкнутую кривую. К этому же выводу можно прийти, находя уравнение фазовых траекторий, которое в этом случае будет иметь вид уравнения эллипса.

Следовательно, если процесс представляет собой гармоническое колебание с постоянной частотой и постоянной максимальной амплитудой, то фазовой траекторией такого процесса будет замкнутая кривая эллипс. Если колебания будут негармонические, то фазовая траектория будет другой, но замкнутой кривой. По такой замкнутой кривой изображающая точка движется по часовой стрелке при увеличении времени. При различных начальных условиях замкнутые кривые (в том числе эллипсы) будут идентичны, но будут иметь разные размеры. В данном случае начало координат, являющееся точкой равновесия (особой точкой), называется центром.

Если корни характеристического уравнения будут комплексные с отрицательной действительной частью $\lambda_{1,2} = -a \pm j\beta$, то, как известно, переходный процесс будет представлять собой затухающее гармоническое колебание (рис. 1.2,а).

Рис. 1.2. Затухающий колебательный процесс: а – процесс во времени; б – изображение



процесса на фазовой плоскости

Отмечаем на кривой процесса точки A, B, C, D, E, F , аналогичные точкам, приведенным на рис. 1.1,а. Положим начальные значения x_{10} и x_{20} равными таковым в предшествующем случае, тогда начальное положение изображающей точки на фазовой плоскости будет то же, что и в предыдущем случае. Очевидно, участок процесса АВС также может быть отражен аналогичной, представленной на рис. 1.1,б, фазовой траекторией. Однако на участке CD точка D будет соответствовать меньшей амплитуде, чем это имело место в предыдущем случае, и изображающая точка Md будет на оси x_1 располагаться ближе к началу координат. Дальнейшие колебания будут происходить с все уменьшающимися максимальными амплитудами A_{m1} , и это будет

на фазовой плоскости, в частности, выражаться в том, что точка Mf не совпадет с точкой Ma , а будет располагаться ближе к началу координат. Очевидно, по мере протекания затухающего переходного процесса изображающая точка будет описывать спиралевидную фазовую траекторию, стремящуюся к началу координат на рис. 1.2,б. В данном случае точка равновесия в начале координат называется устойчивым фокусом.

Если корни характеристического уравнения будут комплексными с положительной вещественной частью $\lambda_{1,2} = +a \pm j\beta$, то процесс будет протекать так, как это показано на рис. 1.3,б. Отметим на этой кривой точки A, B, C, D, E, F аналогичные точкам на предыдущих кривых. Тогда легко показать, что при тех же начальных условиях фазовая траектория такого процесса будет иметь вид, который приведен на рис. 1.3,б, где положения изображающей точки имеют те же обозначения, что и на рис. 1.1,б и 1.2,б.

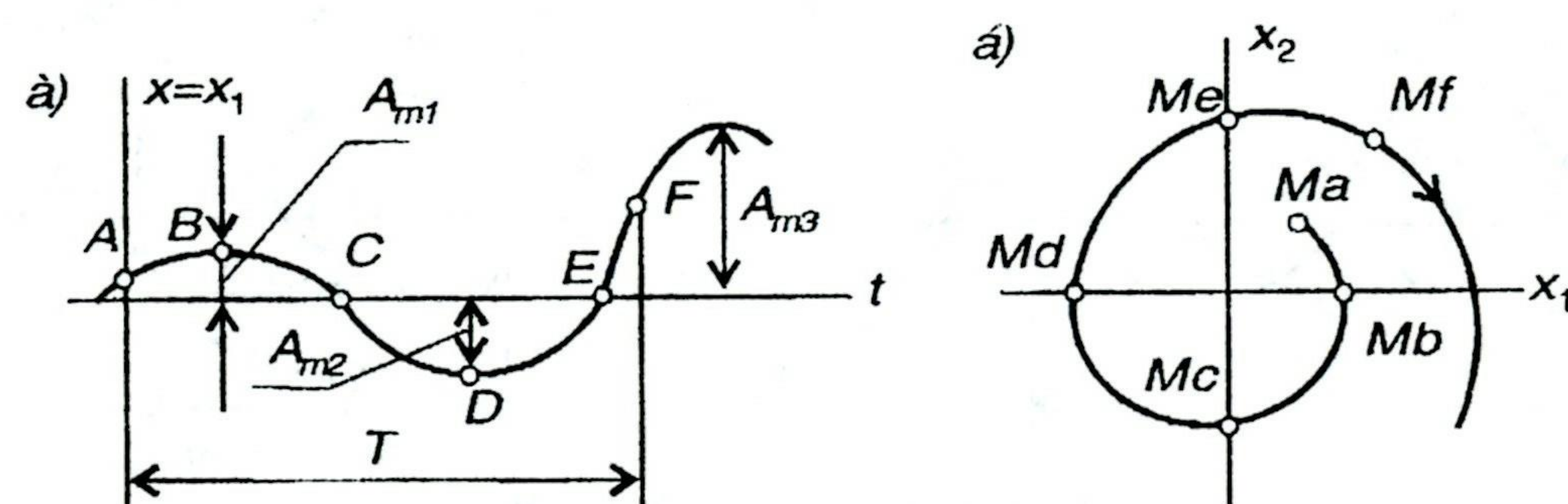


Рис. 1.3. Нарастающий (расходящийся) колебательный процесс: а – процесс во времени; б – изображение процесса на фазовой плоскости

Из рассмотрения фазовой траектории, приведенной на рис. 1.3,б видно, что колебательный расходящийся (неустойчивый) переходный процесс изображается фазовой траекторией в виде спиралевидной кривой, удаляющейся от начала координат. В этом случае точка равновесия (центр координат) называется неустановившемся фокусом.

2.1.2. Дифференциальные уравнения линейной системы

Математической моделью любой САУ или ее части (элемента) является дифференциальное уравнение. Элемент системы, рассматриваемый как динамический объект, называется звеном.

Любая стационарная линейная непрерывная система или звено описывается линейным дифференциальным уравнением.

Для линейных систем справедлив принцип суперпозиции: реакция системы на несколько одновременно приложенных воздействий равна сумме реакций системы на каждое воздействие в отдельности. Этот принцип следует из свойства решений линейных дифференциальных уравнений

Благодаря принципу суперпозиции исследование систем с несколькими входами всегда можно свести к исследованию систем с одним входом. Система или звено с одним входом описывается уравнением вида

$$a_0 y^{(n)} + a_1 y^{(n-1)} + \dots + a_n y = b_0 x^{(m)} + b_1 x^{(m-1)} + \dots + b_m x \quad (1.1)$$

где $y^{(n)}, x^{(m)}$ – производные по времени выходного и входного сигналов.

В теории автоматического управления для упрощения решения дифференциальных уравнений используется преобразование Лапласа.

$$L\{a_0 y^{(n)} + a_1 y^{(n-1)} + \dots + a_n y\} = L\{b_0 x^{(m)} + b_1 x^{(m-1)} + \dots + b_m x\} \quad (1.2)$$

Здесь L – символ преобразования (оператор) Лапласа. При нулевых начальных условиях $L\{y^{(i)}(t)\} = s^i Y(s)$, где $Y(s) = L\{y(t)\}$.

Используя это свойство и свойство линейности преобразования Лапласа

$$L\{\alpha x_1(t) + \beta x_2(t)\} = \alpha L\{x_1(t)\} + \beta L\{x_2(t)\}, \quad \text{получаем}$$

дифференциальное уравнение САУ или звена в изображениях по Лапласу

$$(a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_n) Y(s) = (b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_m) X(s) \quad (1.3)$$

2.1.3. Передаточные функции линейной системы.

Для описания САУ используются передаточные функции. Передаточная функция по существу является особой формой записи дифференциального уравнения. Передаточной функцией системы в изображениях по Лапласу $W(s)$ называется отношение

изображений по Лапласу выходной величины к изображению входной при нулевых начальных условиях. Здесь s – комплексная переменная в преобразовании Лапласа.

По определению, из (1.3) для передаточной функции в изображениях по Лапласу получаем

$$W(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_m}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_n}$$

Чаще используют передаточную функцию в стандартном (нормированном) виде, когда свободный член знаменателя равен 1. Для этого и числитель, и знаменатель делят на коэффициент a_n . Тогда

$$W(s) = \frac{\frac{b_0}{a_n} s^m + \frac{b_1}{a_n} s^{m-1} + \dots + \frac{b_m}{a_n}}{\frac{a_0}{a_n} s^n + \frac{a_1}{a_n} s^{n-1} + \dots + 1}$$

Если ввести обозначения $k_1 = \frac{b_0}{a_n}$; $k_2 = \frac{b_1}{a_n}$; ...; $k_{m+1} = \frac{b_m}{a_n}$ и

$T_1^n = \frac{a_0}{a_n}$; $T_2^{n-1} = \frac{a_1}{a_n}$... , то стандартная форма записи передаточной функции может быть представлена в виде выражения

$$W(s) = \frac{k_1 s^m + k_2 s^{m-1} + \dots + k_m}{T_1^n s^n + T_2^{n-1} s^{n-1} + \dots + 1}$$

Дифференциальное уравнение в изображениях по Лапласу (при нулевых начальных условиях) звена или САУ (1.1) приобретает вид $Y(s) = W(s) X(s)$.

3. Содержание отчета по лабораторной работе

Отчет оформляется на ПЭВМ с использованием текстовых и графических редакторов или с помощью письменно - чертежных принадлежностей. Отчет представляется на скрепленных листах бумаги формата А4.

В отчет включается:

- Название работы.
- Цель выполнения работы.

- Порядок выполнения. Порядок выполнения лабораторной работы приводится по пунктам задания. В этом разделе отражаются ключевые моменты эксперимента. Практически отчет составляется по каждому пункту задания и должен включать:

- Схемы эксперимента (исходя из эксперимента конструктивную, структурную, функциональную или принципиальную).

- Исходные данные на проведение эксперимента (исходное задание преподавателя).

- Результаты эксперимента, представляемые графиками, диаграммами, уравнениями, расчетами и т.д.

- Выводы.

Лабораторная работа № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ВАЛА ТЕПЛООВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Для выполнения работы используется программа (файл) WATT – классическая система авторегулирования Уатта из электронного учебного пособия.

Цель работы: изучить систему автоматического регулирования частоты вращения вала теплового двигателя; определить допустимые границы отклонения параметров настройки и величины возмущающего воздействия при линеаризации; исследовать переходные процессы системы регулирования при разных параметрах настройки и величине возмущающего воздействия.

Предварительная подготовка

Изучить настоящие методические указания и техническую литературу, указанную в разделе литература: Л1 (стр. 31...43, Л2 (стр. 48...58).

Задание

1. Исследовать поведение теплового двигателя без регулятора при изменении положения регулирующего органа (заслонки) регулятора.
2. Исследовать поведение центробежного датчика при изменении частоты вращения вала в разомкнутой системе автоматического регулирования.
3. Исследовать на электронной модели поведение САР при скачкообразном изменении механической нагрузки на валу двигателя.
4. Исследовать динамические характеристики САР.
- 4.1. Исследовать нелинейную САР, описываемую исходными уравнениями. Определить зависимость переходного процесса системы от размера параметров настройки регулятора и размера начального отклонения входной величины. В выполняемой работе за входную величину принимается x_1 – угол отклонения грузов (шаров) датчика.
- 4.2. Исследовать САР, описываемую линеаризованными уравнениями. Определить качественно условия допустимости линеаризации. Определить зависимость характера переходного процесса в линеаризованной системе от размера параметров настройки регулятора и размера начального отклонения x_1 .

Пояснения к работе

Преподавателем или лаборантом на мониторе ПЭВМ устанавливается электронное учебное пособие по “Теории автоматического управления”. Электронное учебное пособие позволяет исследовать математическую модель САР прямым методом путем решения дифференциальных уравнений. Нажатием кнопки “ОК” курсором манипулятора “мышь” открывается окно с перечнем программ, используемых в качестве лабораторных работ (комплект программ по курсу ТАУ). Выбирается программа

“WATT – классическая система авторегулирования Уатта”. Нажатием кнопки “ОК” открывается заставка выбранной работы. Снова нажать кнопку “ОК”.

Открывается первое окно программы. В нем приведены исходные дифференциальные уравнения звеньев системы автоматического регулирования. Подвести курсор мыши к кнопке в левом верхнем углу окна (экрана) и нажать левую кнопку мыши. Откроется “Главное меню” (рис.1.Л1).

Использовать опцию (функцию) “Модель системы”, которая открывается с помощью курсора мыши, как и в случае открытия “Главного меню”. Открывается блок программы, состоящий из трех страниц. Первая страница (окно) разделена на две части. В левой части экрана представлена конструктивная схема парового двигателя, а в правой – датчик (центробежный измеритель скорости). Открытие следующего окна (смена страницы) осуществляется клавишами “PgDn” и “PgUp”. Конец просмотра – клавиша “Esc”.

Главное меню
Модель системы
Задание параметров
Линеаризация системы
Фазовый портрет
Процесс регулирования
Задача Вышнеградского
Выход из программы

Рис.1.Л1.

Перейти на третью страницу (рис.1,П1). Зарисовать схему САР. Записать физические величины, используемые в лабораторной работе для обозначения технических параметров, и исходные уравнения системы “двигатель-регулятор”. Подчеркнуть явно нелинейный характер уравнений.

Вернуться на первую страницу.

Методика проведения исследования

1. Исследовать зависимость частоты вращения вала теплового двигателя без регулятора от положения регулирующего органа (заслонки).

Изменяя положение заслонки в канале подачи энергоносителя в двигатель в сторону открытия или закрытия наблюдать за изменением частоты вращения маховика двигателя. Положение

заслонки изменяется с помощью курсорных клавиш “←” и “→” клавиатуры ПЭВМ.

Частота вращения маховика, связанного с валом двигателя указывается на индикаторе тахометра. Для трех положений заслонки записать значения частоты вращения маховика. Сделать эскизы положения заслонки в магистрали энергоносителя для выбранных режимов работы теплового двигателя. По результатам эксперимента сделать выводы.

- Исследовать зависимость угла отклонения грузов центробежного датчика при различной частоте вращения вала в разомкнутой САР.

Изменяя частоту вращения вала парового двигателя с помощью курсорных клавиш, наблюдать отклонение грузов центробежного датчика под действием центробежных сил. При исследовании САР угол φ отклонения грузов от вертикальной оси, функционально связанный с частотой вращения вала ω , принят за входную величину регулятора. Взять три режима работы двигателя (ω_{\min} , $\omega_{\text{ср}}$, $\omega_{\text{тах}}$). Для каждого режима привести эскиз положения грузов датчика и значения частоты вращения вала. По результатам эксперимента сделать выводы.

- Исследовать на электронной модели поведение системы автоматического регулирования при скачкообразном изменении механической нагрузки на валу двигателя.

С помощью курсорных клавиш перейти на следующую страницу. На странице представлена замкнутая система автоматического регулирования частоты вращения вала двигателя. Установить минимальное значение возмущающего воздействия $M_{\text{в min}}$ (механического момента нагрузки на валу двигателя). Нажатием клавиши “Enter” запустить систему регулирования. Наблюдать переходной процесс на динамической модели САР. Повторить опыт при $M_{\text{в тах}}$. Обратить внимание на первоначальное движение грузов датчика и заслонки. По наблюдаемому колебательному переходному процессу сделать выводы. Нажать клавишу “Esc” – конец просмотра.

- Исследовать динамические характеристики САР.

4.1. Исследовать нелинейную САР, описываемую исходными уравнениями (рис.1,П1). Определить зависимость переходного процесса системы от размера параметров настройки регулятора САР и размера начального отклонения входной величины

По конструктивной схеме составить функциональную схему САР.

Войти в “Главное меню”. Открыть окно “Задание параметров” (рис.2,П1). На странице приводятся уравнения системы в безразмерных переменных. Переход от одних уравнений к другим производится заменой переменных.

Далее в исследуемой системе принимается: $x_1 = \varphi$ (угол отклонения грузов датчика) – входная переменная; x_2 – скорость изменения входной переменной. В средней части экрана задаются параметры K и a . Подтвердить ввод параметров нажатием кнопки “Конец ввода”. В нижней части экрана (рис.3,П1) даются рассчитанные программой параметры начального состояния (положения равновесия). x_1 , x_2 , x_3 , и установленное τ_1 – время наблюдения переходного процесса. Примем начальное состояние системы статическим, откуда скорость изменения входного параметра $x_2=0$. Параметры САР задаются преподавателем или выбираются студентом.

Для исследования системы регулирования после подтверждения установленных параметров командой “Конец ввода” производится установка начального отклонения входной величины x_{10} от

Параметры	
φ	
x_1	
x_2	
τ_1	
<input type="checkbox"/>	Конец ввода

Рис.2.П1.

положения равновесия. Отклонение устанавливается в рамке для x_1 окна “Задание параметров” или в меню “Параметры” (рис.2.П1). Значение отклонения определяется из выражения, $x_{10} = x_{1н} \pm \Delta x_1$ где $x_{1н}$ – начальное,

рассчитанное программой, значение входной величины x_1 , Δx_1 – задаваемый скачек входной величины – возмущение, вызывающее переходной процесс. Ввод данных подтверждается нажатием кнопки “Конец ввода”.

Можно, изменяя параметры регулятора, получить САР со сходящимся колебательным, с незатухающим колебательным и расходящимся колебательным переходными процессами. Подобрать параметры настройки системы, обеспечивающие заданные переходные процессы. Для этого целесообразен следующий порядок выполнения исследований:

Нажатием левой верхней кнопки открыть “Главное меню”. Выбрать функцию “Процесс регулирования”. Откроется меню окончательного ввода параметров “Параметры”. Если не ввели ранее, ввести x_{10} . После подтверждения командой “Конец ввода” открывается меню “Выбор функций”. Программа предлагает выбрать функции для отображения на графиках. Выбрать x_1 в качестве первой функции и x_2 в качестве второй функции, т.е. параметр и его скорость изменения. Подтвердить конец ввода.

На экране в своем окне появляется график переходного процесса (1) x_1 (переходная характеристика или переходная функция) и график скорости изменения параметра (2) x_2 . Этот график на экране представляется красным цветом. Окно графиков можно сжимать и растягивать во весь экран с помощью кнопки в правом верхнем углу. При нажатии левой верхней кнопки открывается меню, которое позволяет выбрать границы области рассматриваемых графиков относительно осей координат по горизонтали и вертикали, т.е. масштабы по осям абсцисс и ординат. При выборе опции “Продолжить” можно посмотреть продолжение графика процесса. Полученные графики зарисовать или вывести на принтер для включения в отчет.

Для исследования фазового портрета выбрать функцию “Закрывать” в меню “Процесс регулирования” и перейти в “Главном меню”. Исследовать фазовый портрет системы, используя функцию “Фазовый портрет” “Главного меню”. Фазовый портрет зарисовать совместно с соответствующими переходными характеристиками.

Сделать выводы об устойчивости систем и качестве регулирования.

4.2. Исследовать линеаризованную САР. Определить качественно условия допустимости линеаризации. Определить зависимость переходного процесса системы от размера параметров настройки САР и размера начального отклонения входной величины. Исследования линеаризованной системы в сравнении с исходной нелинейной САР проводятся в указанном выше порядке.

Открыть страничку “Линеаризованная система” (рис.4,П1). На страничке приводятся линеаризованные уравнения. На запрос программы: “Рисовать решение (переходную характеристику) линеаризованной системы?” ответить “Да”.

На графики будут выводиться контролируемый сигнал x_1 для исходной САР (синим цветом) и x_1 для линеаризованной САР (красным цветом).

Замечание. В настоящих методических указаниях представлены одноцветные графики процессов и x_1 для исходной САР отмечен цифрой 1, а для линеаризованной – цифрой 2.

Путем подбора основных параметров настройки регулятора, получить линеаризованные САР со сходящимся колебательным, с незатухающим колебательным и расходящимся колебательным переходными процессами. По дополнительному заданию преподавателя получить апериодический переходной процесс САР.

Зарисовать переходные процессы и фазовые портреты полученных систем.

Путем пошагового изменения величины Δx_1 качественно определить допустимую величину начального отклонения параметра, т.е. значение Δx_1 при котором линеаризация уравнений системы, предлагаемая в учебном пособии, допустима и целесообразна.

Сделать вывод о допустимости линеаризации уравнений системы.

По проведенным экспериментам составляется отчет. Титульный лист оформляется по установленным правилам в МГТУ “МАМИ”.

Содержание отчета

Отчет составляется исходя из общих рекомендаций.

Кроме того, в отчете должны быть представлены:

Эскизы конструктивных схем по п.п. 1...3 задания. На основании конструктивной схемы замкнутой системы регулирования составить функциональную схему САР.

Графики переходных процессов и фазовых портретов по всем пунктам исследования САР.

В п. 4.1 и 4.2 на основании полученных данных сделать выводы об устойчивости и качестве регулирования системы регулирования при различных переходных процессах.

В п.4.2. на основании полученных данных сделать выводы о допустимости линеаризации.

Пример оформления отчета по лабораторной работе №1 представлен в Приложении 2.

Рассмотренная в лабораторной работе система автоматического регулирования частоты вращения вала тепловой машины является системой прямого действия.

В конце отчета студент приводит описание и конструктивные или функциональные схемы систем автоматического регулирования непрямого действия:

- с центробежным датчиком скорости вращения;
- с другими типами датчиков и электрическими или электронными элементами в других функциональных устройствах.

Контрольные вопросы

1. Что такое система автоматического регулирования?
2. Как разделяются САР по характеру изменения задающего воздействия?
3. Что такое переходная характеристика?
4. Что такое фазовый портрет системы?
5. Дайте определение устойчивости системы регулирования.

6. Поясните работу системы автоматического регулирования по конструктивной и составленной функциональной схемам.

Лабораторная работа № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ТИПОВЫХ ЛИНЕЙНЫХ ЗВЕНЬЕВ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Используется программа электронного учебного пособия "LINSYS – исследование линейных систем".

Цель работы: изучить типовые звенья линейных систем автоматического управления: апериодическое, колебательное и интегрирующее; их переходные и амплитудно-частотные характеристики, корни характеристического уравнения.

Предварительная подготовка

Изучить настоящие методические указания и учебную литературу, указанную в разделе литература: Л1 (стр. 43...62), Л2 (стр. 53...62).

Задание

1. Для каждого из звеньев составить передаточные функции $W(s)$ в нормированном аналитическом и численном виде.
2. Исследовать вычисленные программой значения корней характеристического уравнения.
3. Зарисовать или вывести на принтер переходные и амплитудно-частотные характеристики и расположение корней на комплексной плоскости.

Пояснения к работе

Преподавателем или лаборантом на мониторе ПЭВМ устанавливается электронное учебное пособие по лабораторным работам. Нажатием кнопки "ОК" курсором мыши открывается окно с перечнем решаемых программой задач и информационных материалов. Выбирается программа "LINSYS – исследование линейных систем".

В первом окне "Исследование линейных систем" имеется справочная служба, вызываемая ключом $F1$ клавиатуры ПЭВМ. Ключом $F2$ вызывается окно "Справка о ключах", которая может быть полезна при оформлении отчета об эксперименте с помощью ПЭВМ.

При нажатии на кнопку "ОК" открывается окно с предложением использовать данные предыдущего счета. Можно использовать ранее введенные данные, нажав на кнопку "Да".

Исследования
Корневой годограф
Ампл. Част. Хар-ка
Переходная функция
В главное меню

Рис.2.Л2.

Открыть
"Главное меню"
(рис 1.Л2). Для

Главное меню
Выбор системы
Задание п.ф. объекта
Задание п.ф. регулятора
Исследование системы
Выход из программы

Рис.1.Л2.

чего нажать на левую верхнюю кнопку. Выбрать функцию "Выбор системы". В окне "Выбор системы" выбрать "Разомкнутая система". В качестве исследуемых звеньев используются объекты управления, представленной в программе разомкнутой САУ. Результаты исследований выводятся на экран в виде графиков, шаг квантования и дискретизации которых может задаваться в меню "Шаг счета".

Перейти в "Главное меню". Выбрать функцию задания передаточной функции "Задание п.ф. объекта". После задания типа звена, ввода порядков числителя и знаменателя передаточной функции, ввода коэффициентов дифференциального уравнения подтвердить ввод кнопкой "Конец ввода". Открыть меню "Передаточные функции", в котором можно изменить введенные данные. Закрыть это окно. Открыть "Главное меню" и выбрать функцию "Исследование системы". Открыть окно "Переходная функция". Появляется график переходной характеристики исследуемого звена. При нажатии левой верхней клавиши открывается окно "Исследования" (рис.2.Л2.). Последовательно используются окна "Переходная функция", "Амплитудно-частотная характеристика" и "Корневой годограф". Окна с характеристиками звена можно развернуть на весь экран или свернуть, так чтобы они занимали четверть экрана. Область

расположения графика и масштаб изображения можно менять с помощью функции "Выбор области", в меню, открываемом левой верхней кнопкой соответствующего экрана характеристики.

Выход из программы осуществляется нажатием кнопки "Выход" с соответствующим подтверждением. Для закрытия окон имеется функция "Закрыть".

Методика проведения исследований.

1.1. Аперiodическое звено. Примеры структурной динамической схемы, передаточная функция и корень характеристического уравнения исследуемого аперiodического звена представлены на рис.3.Л2.

Исходные данные. Входная величина звена обозначена f , выходная — y .

Передаточная функция аперiodического звена в нормированной форме описывается выражением $W(s) = \frac{k}{Ts+1}$. Порядок числителя (определяется высшим порядком производной числителя или высшей степенью многочлена числителя) — 0; порядок знаменателя — 1. В электронном учебном пособии передаточная функция записывается в нестандартном виде $W(p) = \frac{a_0}{b_0 p + b_1}$.

Соответственно при вводе данных необходимо принять: $a_0 = k$, $b_0 = T$, $b_1 = 1$.

Открыть меню "Задание передаточной функции объекта". Задать порядок многочленов числителя и знаменателя передаточной функции аперiodического звена. Занести в соответствующие графы таблицы заданные преподавателем значения коэффициентов передаточной функции.

Для примера в настоящих методических указаниях взяты $k = 5$, $T = 4 \text{ с}^{-1}$.

Результаты эксперимента. Полученные характеристики заданного звена представить в отчете. Характеристики звена, взятого для примера представлены на рис.3.Л2, а, в, г.

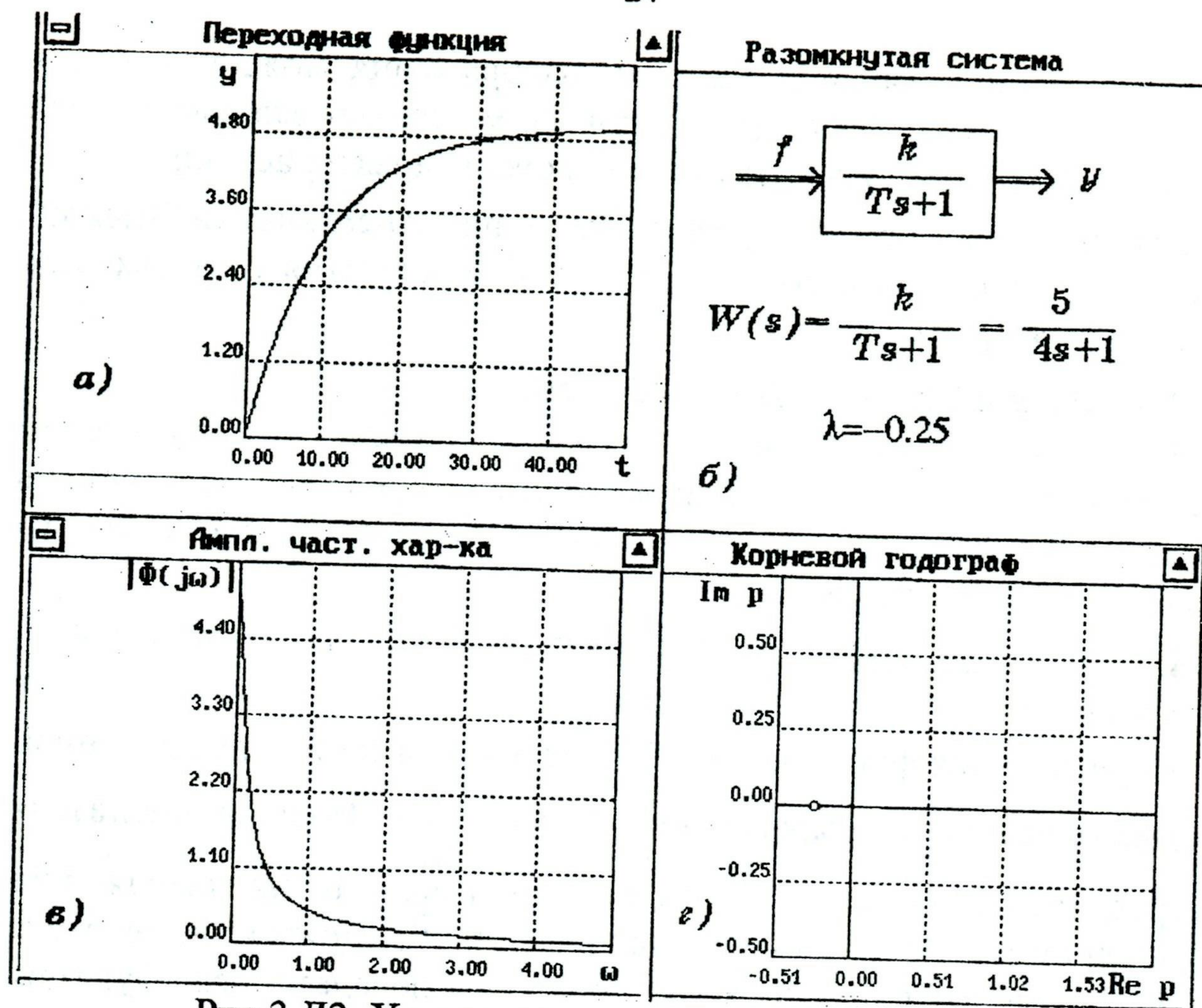


Рис.3.12. Характеристики аperiodического звена

1.2. Колебательное звено. Структурная схема, передаточная функция, переходная и амплитудно-частотная характеристики и корни характеристического уравнения исследуемого колебательного звена представляются в отчете.

Исходные данные. Передаточная функция колебательного звена в нормированной форме $W(s) = \frac{k}{T_1^2 s^2 + T_2 s + 1}$. Порядок числителя – 0; порядок знаменателя – 2. Коэффициент затухания $\xi = \frac{T_2}{2T_1}$. Для эксперимента взять $\xi < 0,1$.

В электронном учебном пособии передаточная функция записывается в другом виде $W(p) = \frac{a_0}{b_0 p^2 + b_1 p + b_2}$. Соответственно при вводе данных нужно представить: $a_0 = k$; $b_0 = T_1$; $b_1 = T_2$; $b_2 = 1$.

Открыть меню “Задание передаточной функции объекта”. Записать порядок многочленов числителя и знаменателя передаточной функции колебательного звена. Занести в соответствующие графы таблицы заданные преподавателем значения коэффициентов передаточной функции.

Возьмем для примера $k = 5$, $T_1 = 4$, $T_2 = 0,15$.

Результаты эксперимента. Полученные характеристики представить в отчете.

1.3. Интегрирующее звено. Структурная схема, передаточная функция, переходная и амплитудно-частотная характеристики и корни характеристического уравнения исследуемого интегрирующего звена представляются в отчете.

Исходные данные. Передаточная функция интегрирующего звена в нормируемой форме $W(p) = \frac{k}{p}$, порядок числителя – 0; порядок знаменателя – 1.

В электронном учебном пособии передаточная функция записывается в другом виде $W(p) = \frac{a_0}{b_0 p + b_1}$. При вводе данных необходимо принять: $a_0 = k$, $b_0 = 1$, $b_1 = 0$.

Открыть меню “Задание передаточной функции объекта”. Записать порядок многочленов числителя и знаменателя передаточной функции интегрирующего звена. Занести в соответствующие графы таблицы заданные преподавателем значения коэффициентов передаточной функции.

Возьмем для примера $k = 5$.

Результаты эксперимента. Полученные характеристики представить в отчете.

По результатам исследований сделать выводы.

По проведенным экспериментам составляется отчет. Титульный лист отчета оформляется по установленным в МГТУ “МАМИ” правилам.

Содержание отчета

Отчет составляется исходя из общих рекомендаций. Кроме того, в отчете должны быть представлены:

Структурные схемы, передаточные функции в нормированном аналитическом виде и с подстановкой численных значения для конкретного исследуемого звена, формулы корней характеристических уравнений и коэффициенты затухания для колебательного звена.

Графики переходных процессов и амплитудно-частотных характеристик и расположение корней характеристических уравнений исследуемых звеньев на комплексной плоскости.

Контрольные вопросы

1. Что такое типовое звено САУ?
2. Как такое передаточная функция?
3. Что такое частотные характеристики?
4. Объясните математическое условие устойчивости и его графическую интерпретацию.

Лабораторная работа № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАМКНУТЫХ ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Используется программа электронного учебного пособия "LINSYS – исследование линейных систем".

Цель работы: изучить возможности достижения устойчивости и качества управления замкнутых систем автоматического управления.

Предварительная подготовка

Изучить настоящие методические указания и учебную литературу, указанную в разделе литература: Л1 (стр. 69...87), Л2 (стр. 64...68).

Задание

1. Взять в качестве объекта управления конкретные типовые звенья, исследуемые в лабораторной работе №2. Исследовать устойчивость, качество переходного процесса и корневые годографы замкнутых линейных САУ.
2. Исследовать влияние параметров устройства управления регулятора, включающего реальное пропорционально-дифференцирующее корректирующее звено, на качество переходных процессов.

Пояснения к работе

Для исследования замкнутой системы автоматического управления надо выбрать функцию "Замкнутая система" в программе "LINSYS – исследование линейных систем".

Войти в "Главное меню". Задать параметры объекта управления. Они берутся из лабораторной работы №2. Открыть функцию "Задание п.ф. регулятора. Установить порядок многочленов числителя и знаменателя передаточной функции регулятора. Установить заданные коэффициенты передаточной функции регулятора. Подтвердить кнопкой "Конец ввода". Открыть меню "Передаточные функции". При необходимости скорректировать коэффициенты. Закрыть меню. Открыть "Главное меню". Выбрать функцию "Исследование системы". Установить рекомендованный преподавателем общий коэффициент усиления. Открыть окно "Переходная функция". Затем открыть меню "Исследование" и вывести на экран окна амплитудно-частотной характеристики и корневого годографа. Выбрать оптимальные области расположения графиков. Задать шаг квантования коэффициента усиления. Зарисовать полученные характеристики для отчета.

Исходные данные. рекомендуемая передаточная функция регулятора

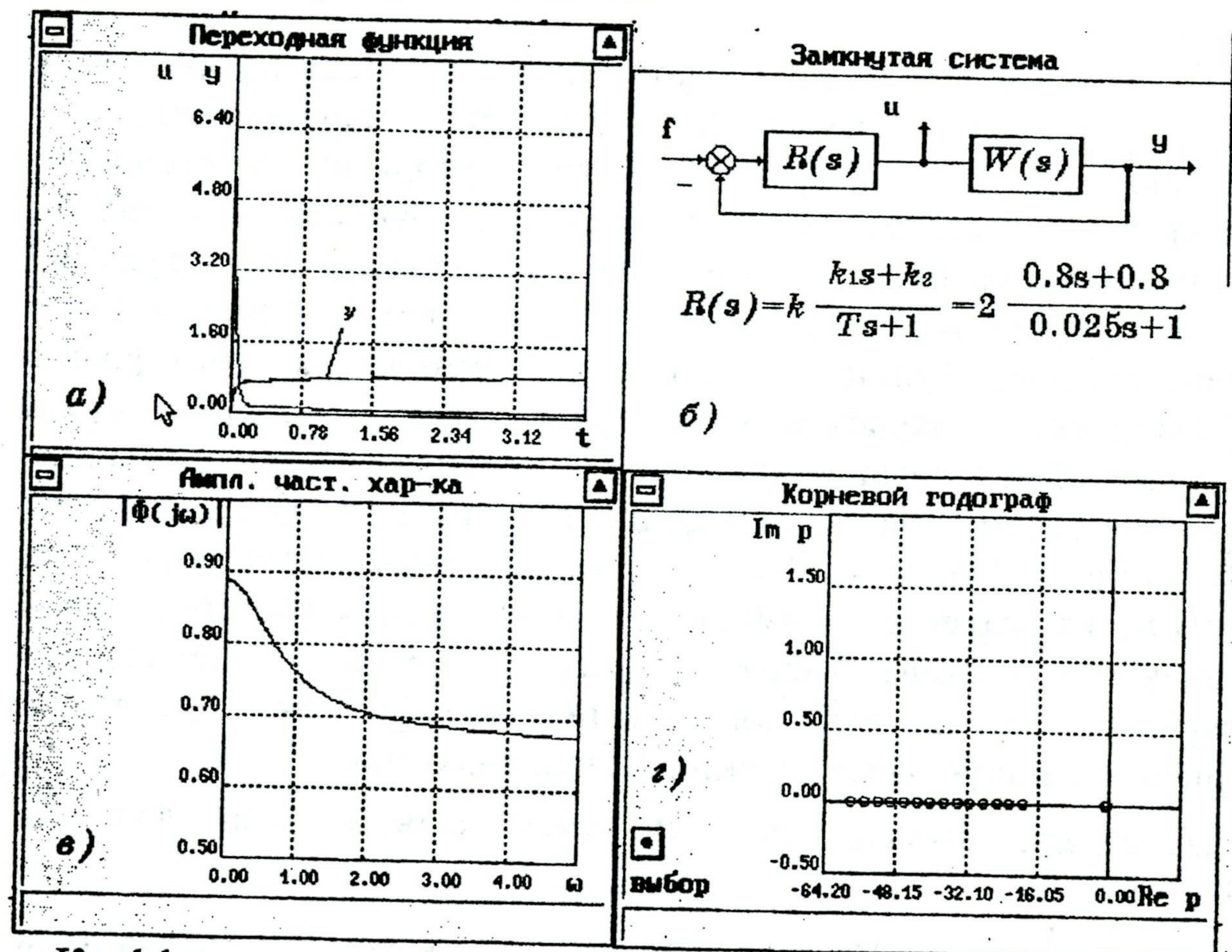
$$R(s) = k \frac{k_1 s + k_2}{T_1 s + 1}.$$

При исследовании систем с различными объектами управления с реальным пропорционально-дифференцирующим звеном регулятор может оставаться

неизменным. Для представленного ниже примера: $k=2$; $k_1=0,8$; $k_2=0,8$ $T_1=0,025$.

2.1. Система управления с апериодическим объектом управления. Структурная динамическая схема замкнутой системы автоматического управления с объектом в виде апериодического звена, передаточная функция регулятора и результаты расчета представлены на рис.1.Л3,б. Входной сигнал САУ обозначен f , выходной y , управляющее воздействие регулятора на объект — u . В переходных процессах кривая y изображается синим цветом, u — красным.

Исследуемый вариант регулятора и полученные результаты исследований проводятся в отчете.



Коэффициенты в передаточной функции объекта берутся из лабораторной работы №2.

Открыть меню “Задание передаточной функции регулятора”. Записать порядок многочленов числителя и знаменателя

регулятора. Занести в соответствующие графы таблицы значения коэффициентов, заданной передаточной функции регулятора.

Рис.1.Л3. Характеристики замкнутой системы регулирования

Результаты эксперимента. Полученные характеристики представить в отчете. Характеристики системы, взятой для примера представлены на рис.1.Л3,а, в, г.

2.2. Система управления с колебательным объектом управления. Данная САУ исследуется аналогично с выше рассмотренной системой с апериодическим объектом управления. Аналогично представляются и результаты исследований.

2.3. Система управления с интегрирующим звеном. Данная САУ исследуется аналогично с выше рассмотренной системой с апериодическим объектом управления. Аналогично представляются и результаты исследований.

Сделать выводы об устойчивости исследованных систем и качестве переходных процессов. Сравнить характеристиками исследуемых объектов в разомкнутом состоянии и при включении в замкнутую систему управления.

По проведенным экспериментам составляется отчет. Титульный лист отчета оформляется по установленным в МГТУ “МАМИ” правилам.

Содержание отчета

Отчет составляется исходя из общих рекомендаций.

Кроме того, в отчете должны быть представлены:

Структурная динамическая схема замкнутой САУ с описанием элементов и действующих сигналов.

Графики переходных процессов и частотные характеристики по всем пунктам исследования САУ. Схемы изменений расположения корней на комплексной плоскости (корневой годограф) при изменении общего коэффициента передачи регулятора приводится в отчете по предложению преподавателя.

На основании полученных данных сделать выводы об устойчивости и качестве переходных процессов замкнутых САУ с объектами управления, описываемыми заданными передаточными функциями.

Контрольные вопросы

1. Что такое статическая и динамическая структурная схема САУ?
2. Что такое коррекция САУ и корректирующее звено?
3. Что такое алгоритм (закон) управления САУ?
4. Какой алгоритм использовался в исследуемых САУ?
5. Как меняются характеристика объекта управления при включении его в контур управления САУ?

Литература

1. Теория автоматического управления: Учебник для вузов /Н.В. Брюханов и др. ; Под ред. Ю. М. Соломенцева. –М.: Высшая школа. 2009.- 268 с.

2 Управление техническими объектами на автомобильном транспорте: Учеб. Пособие. (Рекомендовано УМО вузов РФ по автотранспортному и дорожному образованию для межвузовского использования). А.А. Мельникова, Э.Р. Домке, А. С. Ширшиков и др. / Под ред А.А. Мельникова – Пенза; ПГАСА, 2006.-343 с.

Учебное издание

Мельников Аркадий Алексеевич
Лавриков Алексей Александрович
Варламов Дмитрий Олегович

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Под редакцией авторов

Подписано с печать . Формат 60х90 1/16. Бумага 80 г/м²
Гарнитура Таймс. Ризография. Усл. Печ.л.1.
Тираж экз. Заказ №

МГТУ «МАМИ»
107023, г. Москва, Б. Семеновская ул. 38.