



Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Сельскохозяйственные машины»

ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ТРАКТОРОВ И СПЕЦИАЛЬНЫХ МАШИН

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
по одноименному курсу для студентов
специальности 1-36 12 01 «Проектирование
и производство сельскохозяйственной техники»
дневной и заочной форм обучения**

Электронный аналог печатного издания

Гомель 2007

УДК 631.3:681.513.5(075.8)
ББК 40.72я73
Т33

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
механико-технологического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 5 от 28.06.2006 г.)*

Автор-составитель: *В. Б. Попов*

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. каф. «Автоматизированный электропривод»
ГГТУ им. П. О. Сухого *В. И. Луковников*

Т33

Теория автоматических систем тракторов и специальных машин : лаб. практикум по одному курсу для студентов специальности 1-36 12 01 «Проектирование и производство сельскохозяйственной техники» днев. и заоч. форм обучения / авт.-сост. В. Б. Попов. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2007. – 38 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://gstu.local/lib>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-985-420-655-4.

Изложены основные сведения о линейных непрерывных системах автоматического регулирования.

Для студентов специальности 1-36 12 01 «Проектирование и производство сельскохозяйственной техники» дневной и заочной форм обучения.

УДК 631.3:681.513.5(075.8)
ББК 40.72я73

ISBN 978-985-420-655-4

© Попов В. Б., составление, 2007
© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2007

Введение

Автоматизация режимов работы тракторов и специальных машин (ТиСМ) является одним из главных направлений научно-технического прогресса при создании современной техники. Экономичность, надежность и безопасность функционирования сложных технических объектов, к которым принадлежат ТиСМ, может быть обеспечена в результате квалифицированного использования средств автоматики для систем автоматического регулирования (САР).

Автоматизация технологических процессов ставит перед проектировщиками задачи, решение которых осуществляется на основе знаний из общего кибернетического подхода к формулированию задачи, а также использования математического моделирования в процессе автоматизированного проектирования САР. Основы теоретических знаний о принципах построения систем автоматического регулирования и закономерностях протекающих в них процессов составляют содержание прикладной инженерной дисциплины – теории автоматических систем. В ней рассматриваются общие закономерности функционирования, присущие автоматическим системам различного назначения и различной физической природы. С учетом этих закономерностей разрабатываются эффективные системы управления и регулирования для ТиСМ.

Опыт показывает, что эффективное использование МСХА возможно при условии автоматизации основных технологических операций и процессов. Практика показала, что надежные в эксплуатации средства автоматизации позволяют снизить затраты труда и его напряженность, а также объективнее оценивать технологические изменения в работе машин и агрегатов, повысить производительность и качество уборочных работ.

Общие положения. Правила оформления отчета о выполненной работе

По курсу «Теория автоматических систем тракторов и специальных машин» согласно учебному плану выполняются лабораторные работы.

Перед лабораторным занятием студенту следует уяснить цель работы, задание и освоить необходимый теоретический материал. Необходимо ознакомиться с программным и аппаратным обеспечением, а также с порядком выполнения работы.

Лабораторная работа оформляется на одной стороне листа белой бумаги формата А4 (210 × 297 мм).

В начале лабораторного занятия студенты в письменной или устной форме (по указанию преподавателя) отвечают на контрольные вопросы. Студент, не подготовившийся к лабораторной работе, к занятию не допускается.

Отчет по лабораторной работе должен содержать: титульный лист (см. Приложение); тему работы; цель работы; задание по лабораторной работе; пункты работы в соответствии с Порядком выполнения работы, указанным в настоящем практикуме в лабораторных работах № 1–6. В каждом пункте должны быть приведены необходимые формулы, графики (диаграммы), таблицы и эскизы. Допускается оформление текста отчета по лабораторной работе в среде MathCAD, а также перенос графического материала из других редакторов. Под каждым графическим изображением должен быть номер рисунка, его полное название и, при необходимости, пояснения к обозначениям.

Краткие теоретические сведения

Системы автоматического регулирования предназначены для повышения технико-экономических показателей технических объектов, улучшения условий труда операторов, обеспечения безопасности, повышения качества выполняемых рабочих процессов и защиты окружающей среды. На основе функциональных математических моделей (ММ) определяют характеристики функционирования системы, которые позволяют выявить её работоспособность и оценить степень выполнения предъявляемых к САР технических требований.

Работоспособность САР определяется её устойчивостью – способностью возвращаться в исходное состояние равновесия после прекращения воздействий извне, выводящих САР из состояния равновесия. Степень выполнения технических требований к САР оценивают на основе оценки показателей качества, характеризующих процесс её функционирования.

Задачи анализа заключаются в определении устойчивости и показателей качества создаваемой автоматической системы. При функциональном проектировании их решают на основе использования ММ САР. Вид ММ зависит от уровня абстрагирования, определяемого стадией проектирования.

На этапах технического предложения и эскизного проекта в САР машин используют упрощенное описание физических свойств

объекта регулирования и сложных звеньев регулятора, рассматривая их как линейную динамическую систему с сосредоточенными параметрами. Математическая модель представляется в виде алгоритмической схемы, состоящей из взаимодействующих звеньев с соответствующими передаточными функциями (ПФ) или системы линейных обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) с постоянными коэффициентами. Эти уравнения можно решить традиционными методами интегрирования. Однако при порядке, начиная с четвертого, такой подход становится практически затруднительным. Поэтому в ТАУ управления разработаны более простые методы оценки устойчивости и показателей качества, использующиеся обычно на ранних стадиях проектирования.

В настоящем лабораторном практикуме рассматриваются лишь стационарные элементы и системы. Дифференциальное уравнение такой системы не изменяется с течением времени, и каждый динамический процесс зависит лишь от начальных условий и входных величин, но не зависит от момента времени, в который он начался. Предположение о стационарности есть идеализация, ибо не учитывается, прежде всего, старение элементов при эксплуатации.

Многие элементы САР описываются нелинейными дифференциальными уравнениями. Чем сложнее явления, происходящие в элементе, тем больше вероятность того, что его уравнение окажется нелинейным. Далеко не всякое нелинейное дифференциальное уравнение может быть проинтегрировано, и даже отыскание приближенного численного решения требует трудоемких расчетов. Поэтому при инженерных расчетах широко применяют линеаризацию, т. е. замену нелинейных дифференциальных уравнений приближенными линейными, для которых существует общий метод интегрирования.

На практике широко используют представление элементов их передаточными функциями, которые являются специфической записью линейных дифференциальных уравнений и позволяют давать математическое описание систем в виде наглядных структурных схем. Понятие о передаточных функциях и их определение основывается на преобразовании Лапласа. Передаточные функции элементов можно также определять и по экспериментальным характеристикам.

Временные и частотные характеристики, которые описывают поведение элементов и систем в переходных и установившихся режимах и используются как при анализе, так и при синтезе САР, не учитывают их физической природы. Они связаны только с дина-

мическими свойствами объекта, т. е. рассматривают не реальные весьма многообразные элементы, а их математические модели – динамические звенья. Передаточные функции, структурные схемы, временные и частотные характеристики и типовые динамические звенья составляют тот специфический математический аппарат, который используется линейной теорией автоматического регулирования. В основе данных понятий лежит описание динамических свойств элементов и систем дифференциальными уравнениями. Однако вышеперечисленные понятия, математический аппарат позволяют проводить анализ и синтез САР многими методами без интегрирования дифференциальных уравнений и непосредственного исследования их решений. Поэтому достаточно гибкий и простой математический аппарат линейной теории автоматического управления находит прикладное применение во многих технических дисциплинах.

Динамическое звено имеет лишь одну входную и одну выходную величину и описывается одной передаточной функцией (ПФ). Передаточной функцией САР называется отношение выходного сигнала ко входному, взятое в преобразованиях Лапласа [2] при нулевых начальных условиях. Передаточная функция САР позволяет получить её характеристический полином, а также временные и частотные характеристики системы.

Известно, что математическое описание (составление уравнений движения) объектов регулирования, прежде всего технологических процессов и исполнительных элементов иногда представляет собой сложную задачу или возможно лишь с существенными допущениями, т. е. весьма приближенно. В этих случаях оказывается целесообразным получать математическое описание элемента в виде его ПФ на основании экспериментальных данных. Чаще всего экспериментально определяют переходную характеристику элемента (иногда ее называют кривой разгона) и по ней составляют ПФ. Естественно, что неизбежны погрешности, как при снятии экспериментальной характеристики, так и при ее аппроксимации передаточной функцией. Однако обычно погрешности оказываются допустимыми для инженерных расчетов.

Термин «динамическое звено» принят вследствие того, что передаточная функция отображает лишь динамические свойства, а не физическую природу какого-то устройства. Динамическое звено изображают прямоугольником, в который вписывают ПФ или только ее символ (обозначение). В последнем случае вид ПФ должен быть дан в пояснениях к схеме.

На схему в виде стрелок наносят также все внешние воздействия и воздействия динамических звеньев одного на другое. Около каждой стрелки указывают, какую физическую величину или обобщенную координату она изображает. Изменение этой величины и является сигналом, передаваемой информацией.

Иногда выходная величина динамического звена воздействует на несколько звеньев, т. е. сигнал разветвляется. Это обозначают точкой, от которой отходит соответствующее число стрелок. Суммирование сигналов (суммируются, конечно, только одинаковые по своей природе физические величины) обозначают кружком с крестом. Если один из сигналов вычитается, то у стрелки, изображающей этот сигнал, ставят знак «-» или зачерняют сектор кружка, к которому эта стрелка направлена. Принятые символы суммирования и изменения знака сигнала, а также все перечисленные условные знаки приведены на рис. 1.

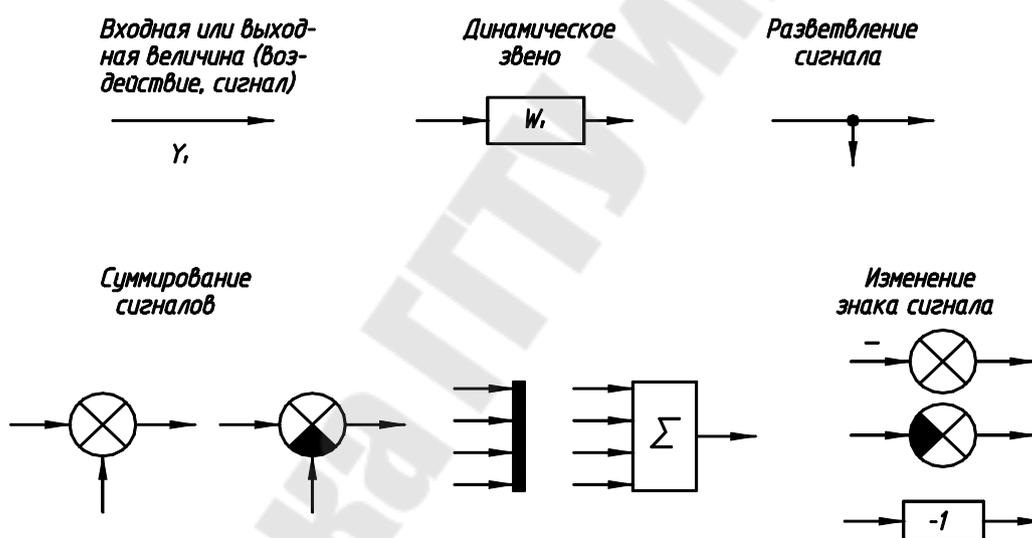


Рис. 1. Условные знаки структурных схем системы автоматического регулирования

Структурная схема – это условное графическое изображение САР, дающее наглядное представление об её строении и позволяющее составить математическое описание – совокупность алгебраических уравнений, связывающих между собой изображения всех переменных. По несложной структурной схеме обычно удается составить операторное уравнение САР, а затем определить требуемые передаточные функции. Для этого разветвленную и многоконтурную структурную схему САР преобразуют в эквивалентную одноконтурную,

для которой определение ПФ разомкнутой и замкнутой уже не вызывает затруднений. Недостаток метода структурных преобразований заключается в необходимости вычерчивать схему САР почти после каждого этапа её упрощения.

Сложные элементы и САР состоят из некоторого числа соединенных между собой динамических звеньев. Наиболее простыми и часто встречающимися (типовыми) соединениями звеньев являются последовательное, параллельное и встречно-параллельное (рис. 2).

При последовательном соединении выходная величина каждого из звеньев, кроме последнего, служит входной величиной последующего звена. Эквивалентная передаточная функция $W_{\text{Пос}}$ последовательного соединения n звеньев равна произведению ПФ этих звеньев:

$$W_{\text{Пос}} = W_1 W_2 \dots W_n.$$

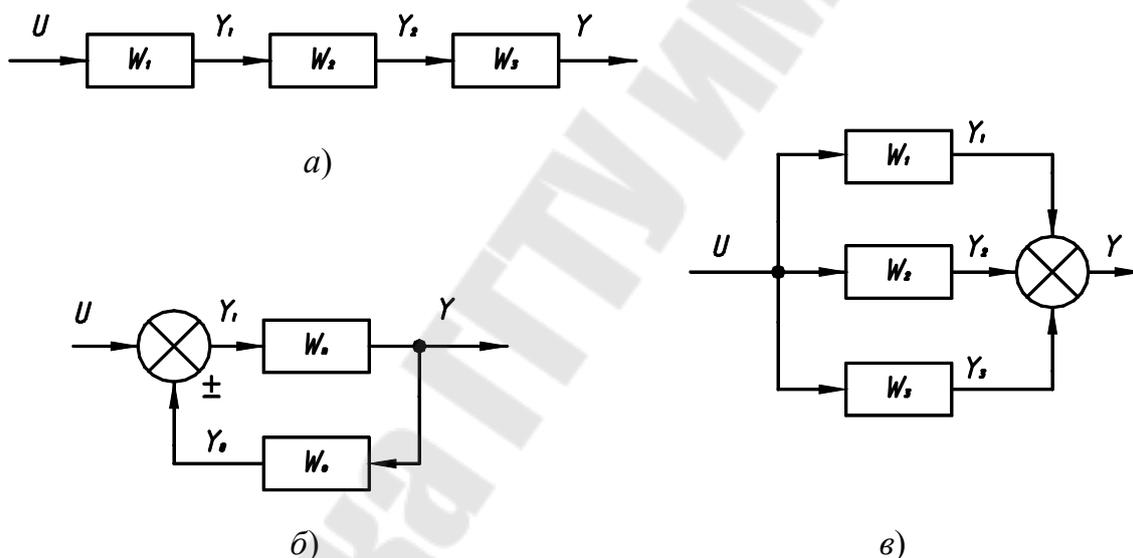


Рис. 2. Типовые соединения динамических звеньев:

a – последовательное; *б* – параллельное;

в – встречно-параллельное

При параллельном соединении все звенья имеют одну и ту же входную величину, а их выходные величины суммируются, т. е. ПФ последовательного соединения звеньев равна сумме ПФ этих звеньев:

$$W_{\text{Пар}} = W_1 + W_2 + \dots + W_n.$$

Встречно-параллельное соединение (охват звена обратной связью) приводит к образованию структуры, состоящей из двух звеньев в виде замкнутой системы. Звено с ПФ $W_{\text{П}}$ является прямой цепью

передачи сигналов, а звено с ПФ W_0 осуществляет обратную связь. Обратная связь – это воздействие выходной величины звена на его вход. Если это воздействие по знаку совпадает с входной величиной, то обратная связь положительная. В противном случае обратная связь отрицательная. Выражение для ПФ встречно-параллельного соединения имеет вид:

$$W_{\text{ВП}} = \frac{W_{\text{П}}}{1 \pm W_{\text{П}} \cdot W_0},$$

где знак «+» в знаменателе соответствует отрицательной обратной связи, а знак «-» – положительной.

Нередко с помощью обратных связей в нужном направлении изменяют свойства типовых динамических звеньев. Для получения новых свойств пользуются и параллельным соединением типовых звеньев [2, табл. 2.5].

Для практики наибольший интерес представляет то, что при параллельном соединении безынерционного звена с позиционными и интегрирующими, появляются дифференцирующие свойства. Такой же эффект наблюдается при параллельном соединении апериодического звена с интегрирующим и даже с апериодическим, имеющим другую постоянную времени. То же самое получается при соединении интегрирующего идеального звена с интегрирующим инерционным и при соединении двух интегрирующих инерционных звеньев с различными постоянными времени.

Лабораторная работа № 1

Временные характеристики типовых звеньев системы автоматического регулирования

Цель работы: изучить переходные и импульсные переходные характеристики звеньев типовых динамических звеньев, а также зависимости переходных процессов от их параметров.

Контрольные вопросы

1. Назовите принятые в САР типовые внешние воздействия.
2. Что такое переходная характеристика звена?
3. Чем определяется колебательный или апериодический характер переходной характеристики?
4. Что такое импульсная переходная характеристика САР?

5. Как связаны между собой переходная и импульсная переходная характеристики?

6. При помощи чего связываются между собой временные и частотные характеристики звеньев?

7. Что характеризует величина относительного коэффициента затухания?

8. Как определить переходную характеристику последовательного соединения элементарных динамических звеньев?

9. Как определяется переходная характеристика звена на внешнее воздействие произвольного вида?

Краткие теоретические сведения

Для однозначной оценки показателей качества переходных процессов применяют типовые внешние воздействия: единичное ступенчатое и единичное импульсное.

Реакция динамического звена или САР на единичное ступенчатое воздействие $h(t)$ при нулевых начальных условиях называется переходной характеристикой (рис. 1.1):

$$h_{\text{ап}}(t) = k(1 - \exp(-t/T))X,$$

где k – коэффициент передачи звена; T – постоянная времени звена; X – входное воздействие.

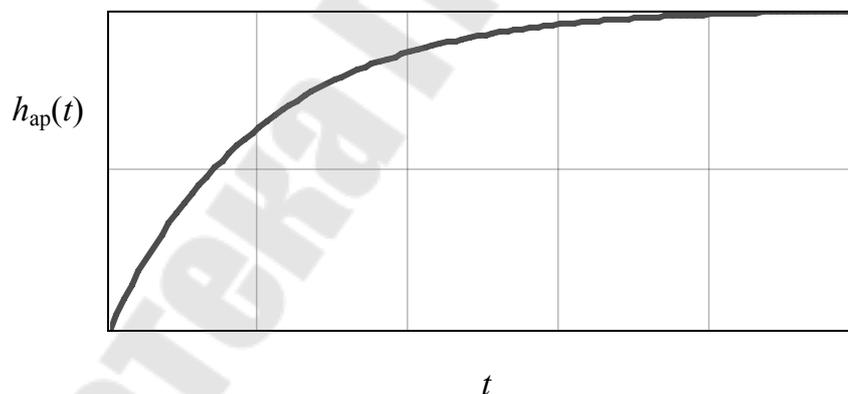


Рис. 1.1. Переходная характеристика апериодического звена 1-го порядка

Реакция динамического звена или САР на единичное импульсное воздействие $\omega(t)$ при нулевых начальных условиях называется импульсной переходной характеристикой (рис. 1.2).

$$\omega_{\text{ап}}(t) = k/T(\exp(-t/T))X.$$

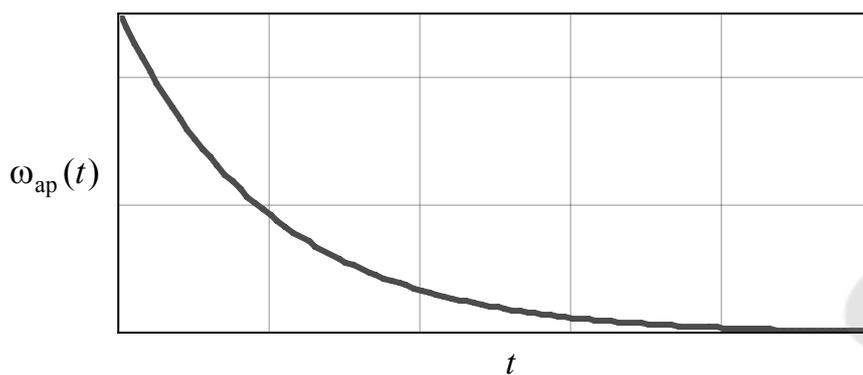


Рис. 1.2. Импульсная переходная характеристика апериодического звена 1-го порядка

Апериодический или колебательный характер переходного процесса определяется соотношением в звене (системе) кинетического и потенциального накопителей энергии. Если преобладает тот или другой накопитель, то характер переходного процесса – апериодический. Если в звене следует учитывать оба накопителя энергии, то характер переходного процесса – колебательный (рис. 1.3 и 1.4). При этом энергия преобразуется из одного вида в другой, а часть её рассеивается, что учитывается величиной относительного коэффициента затухания ξ .

$$h_{kol}(t) = k \left[1 - \exp(-\alpha t) \left(\cos(\beta t) + \frac{\alpha}{\beta} \sin(\beta t) \right) \right] X,$$

где $\alpha = \frac{\xi}{T}$; $\beta = \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{T}$.

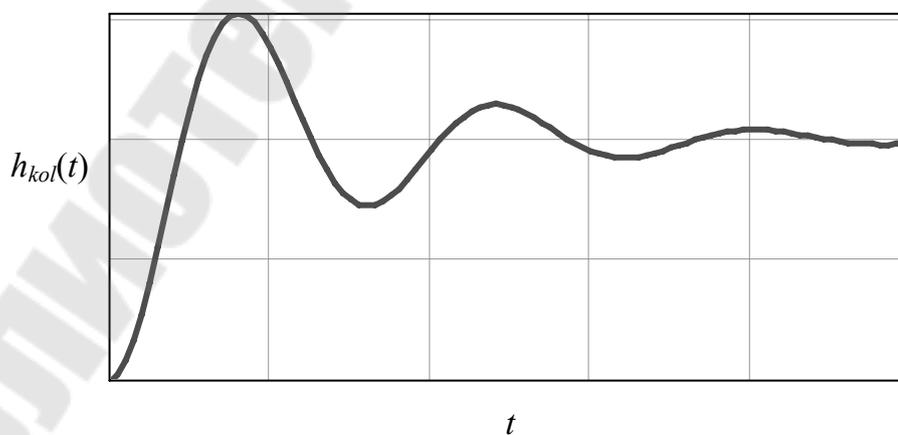


Рис. 1.3. Переходная характеристика колебательного звена

$$\omega_{kol}(t) = \left[k \beta \cdot \left(1 + \left(\frac{\alpha}{\beta} \right)^2 \right) \exp(-\alpha t) \sin(\beta t) \right] X.$$

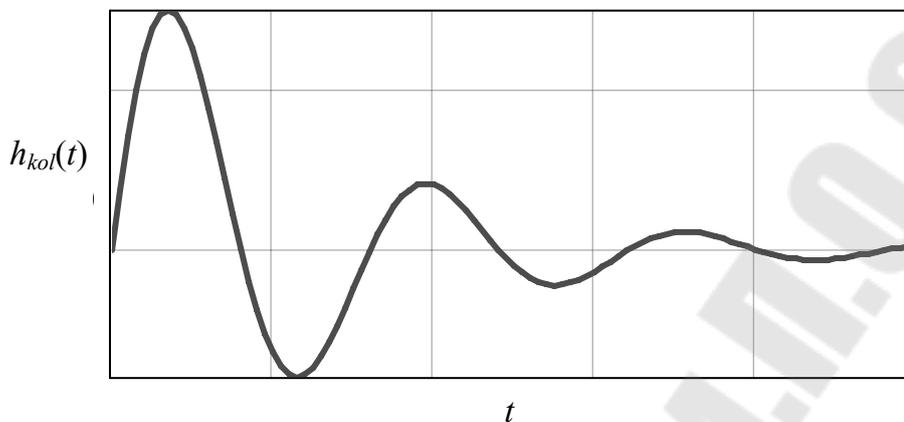


Рис. 1.4. Импульсная переходная характеристика колебательного звена

Задание и порядок выполнения работы

1. Ознакомьтесь с теорией о временных характеристиках.
2. Ответив на вопросы преподавателя, получите допуск к лабораторной работе.
3. Просмотрите файл лабораторной работы на персональном компьютере E: users/TAR/tar_lab_1.
4. Постройте переходные и импульсные переходные характеристики для следующих динамических звеньев: апериодического 1-го порядка; колебательного и интегродифференцирующего.
5. Варианты параметров звеньев выбираются из табл. 1.1 в соответствии с порядковым номером студента (фамилии) в учебном журнале.
6. Исследуйте влияние изменения параметров (увеличения и уменьшения) на характер переходных процессов.
7. В отчете должны быть представлены: вариант и значения параметров, математическое описание звеньев, графики переходных процессов и заключение о влиянии параметров на вид характеристик.
8. Графики переходных характеристик должны быть информативны, т. е. представленные на них переходные процессы должны быть завершёнными (как это показано на рис. 1.1–1.4).

Таблица 1.1

№	k_1	T_1	k_2	T_2	ξ	k_3	T_3	T_4
1	1,0	0,4	1,1	0,3	0,5	1,1	0,31	0,51
2	1,2	0,42	1,3	0,32	0,52	1,3	0,33	0,53
3	1,4	0,44	1,5	0,34	0,54	1,5	0,35	0,55
4	1,6	0,46	1,7	0,36	0,56	1,7	0,37	0,57
5	1,8	0,48	1,9	0,38	0,58	1,9	0,39	0,59
6	2,0	0,5	2,1	0,4	0,6	2,1	0,41	0,61
7	1,1	0,41	1,0	0,31	0,51	1,0	0,4	0,31
8	1,3	0,43	1,2	0,33	0,53	1,2	0,42	0,33
9	1,5	0,45	1,4	0,35	0,55	1,4	0,44	0,35
10	1,7	0,47	1,6	0,37	0,57	1,6	0,46	0,37
11	1,9	0,49	1,8	0,39	0,59	1,8	0,48	0,39
12	2,1	0,51	2,0	0,41	0,61	2,0	0,5	0,41
13	2,2	0,52	2,2	0,42	0,62	2,2	0,47	0,42
14	2,3	0,53	2,3	0,43	0,63	2,3	0,49	0,43
15	2,4	0,54	2,4	0,44	0,64	2,4	0,51	0,44

Лабораторная работа № 2

Частотные характеристики типовых динамических звеньев системы автоматического регулирования

Цель работы: построить частотные характеристики типовых динамических звеньев; изучить влияние параметров звеньев на частотные характеристики.

Контрольные вопросы

1. Что такое амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) линейного звена. Как АЧХ зависит от частоты сигнала на входе?
2. Что такое фазочастотная характеристика (ФЧХ).
3. Для чего используются понятия вещественная (ВЧХ) и мнимая (МЧХ) частотные характеристики?
4. Продемонстрируйте связь между АЧХ и ФЧХ с одной и ВЧХ и МЧХ с другой стороны.
5. Что такое частотная передаточная функция (ЧПФ) и как её получить из передаточной функции (ПФ)?
6. Что такое амплитудно-фазочастотная характеристика (АФЧХ)? Покажите модуль и аргумент ЧПФ, а также её ВЧХ и МЧХ на АФЧХ.

7. Поясните следующие понятия: «децибел», «декада», «октава». В чем заключается практическая ценность от ввода логарифмической шкалы частот.

8. Как построить эквивалентную ЛАЧХ для последовательно соединенных звеньев?

9. В чем отличие асимптотической ЛАЧХ от действительной?

Краткие теоретические сведения

Для оценки установившихся режимов более удобно рассматривать поведение элементов и САР при воздействиях, являющихся периодическими функциями времени. В качестве таких воздействий были выбраны гармонические воздействия.

Амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ) динамического звена называется зависимость отношения амплитуд выходного и входного сигналов от частоты.

Фазочастотной характеристикой (ФЧХ) называется зависимость от частоты разности фаз выходного и входного гармонического сигнала.

Таким образом, АЧХ и ФЧХ характеризуют реакцию системы или звена на гармоническое воздействие. АЧХ и ФЧХ показывают, что линейный элемент или система изменяют амплитуду и фазу гармонического сигнала: амплитуда уменьшается или увеличивается в A раз и сдвиг по фазе увеличивается или уменьшается на φ градусов (или радиан). Для апериодического звена 1-го порядка АЧХ и ФЧХ определяются по выражениям:

$$A(\omega) = \frac{k}{\sqrt{1 + T^2 \omega^2}}; \quad \varphi(\omega) = -\arctg(T\omega).$$

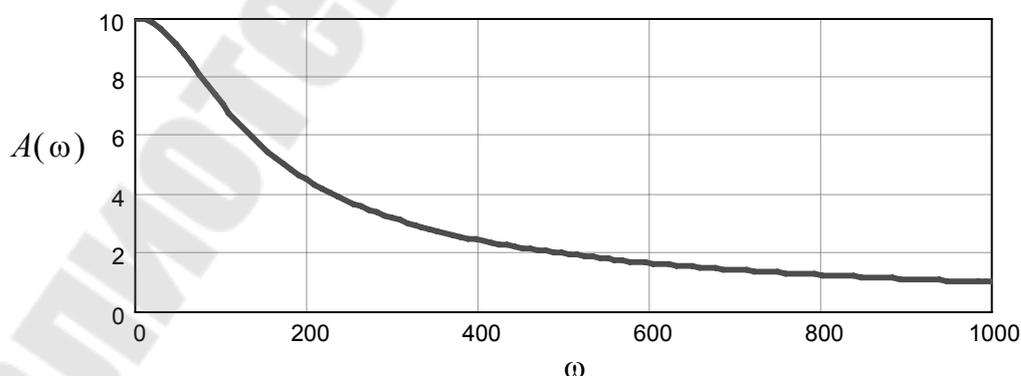


Рис. 2.1. Амплитудно-частотная характеристика апериодического звена 1-го порядка

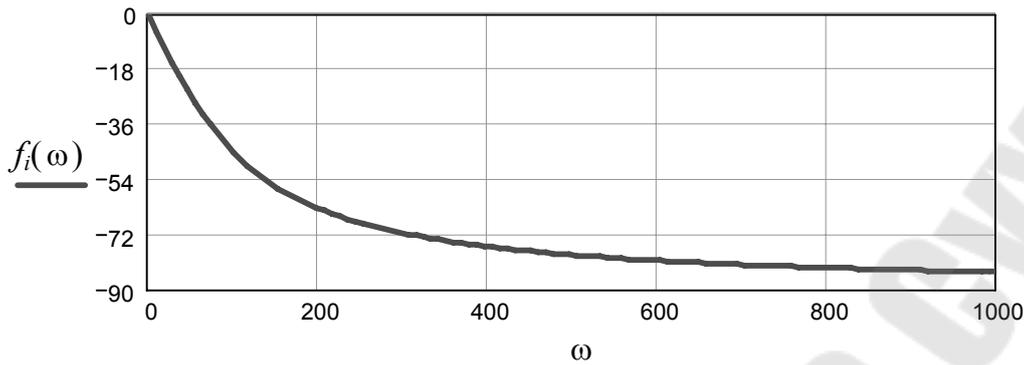


Рис. 2.2. Фазочастотная характеристика аperiodического звена 1-го порядка

Частотные характеристики каждого элемента и каждой системы зависят только от свойств этого элемента или этой системы, но не зависят от амплитуды и фазы входных гармонических сигналов.

Амплитудно-фазовая частотная характеристика (АФЧХ) представляет собой годограф ЧПФ, т. е. геометрическое место конца вектора $W(j\omega)$ при изменении ω от 0 до ∞ .

Для построения амплитудно-фазовой частотной характеристики должна быть известна ПФ разомкнутой САР. В первом случае по передаточной функции W нужно определить частотную передаточную функцию \bar{W} и затем представить её в алгебраическом или показательном виде. Пусть, например:

$$W(S) = \frac{kR(S)}{Q(S)},$$

где k – передаточный коэффициент; $R(S)$ и $Q(S)$ – полиномы от степени соответственно m и n ($m \leq n$), у которых коэффициент младшего члена равен единице.

После подстановки $S = j\omega$, получим

$$\bar{W}(\omega) = \frac{k(u_1 + jv_1)}{u_2 + jv_2},$$

где u_1, v_1, u_2, v_2 – полиномы от ω .

Чтобы представить $\bar{W}(\omega)$ в алгебраическом виде, нужно числитель и знаменатель умножить на комплексное число, сопряженное со знаменателем, и затем отделить действительную часть от мнимой. В результате $\bar{W}(\omega)$ примет следующий вид:

$$\overline{W}(\omega) = \frac{k(u_1 + jv_1)(u_2 - jv_2)}{(u_2 + jv_2)(u_2 - jv_2)} = U(\omega) + jV(\omega),$$

$$\text{где } U(\omega) = \frac{k(u_1u_2 + v_1v_2)}{u_2^2 + v_2^2}; \quad V(\omega) = \frac{k(v_1u_2 - u_1v_2)}{u_2^2 + v_2^2}.$$

В результате для апериодического звена 1-го порядка имеем:

$$U(\omega) = \frac{k}{1 + T^2\omega^2}; \quad V(\omega) = \frac{-kT\omega}{1 + T^2\omega^2}.$$

С другой стороны, в пакете MathCAD есть операторы Re и Im, раскладывающие ЧПФ на вещественную и мнимую компоненты и достаточно выполнить следующую подстановку:

$$W \operatorname{Re}(\omega) = \operatorname{Re} \overline{W}(\omega); \quad W \operatorname{Im}(\omega) = \operatorname{Im} \overline{W}(\omega).$$

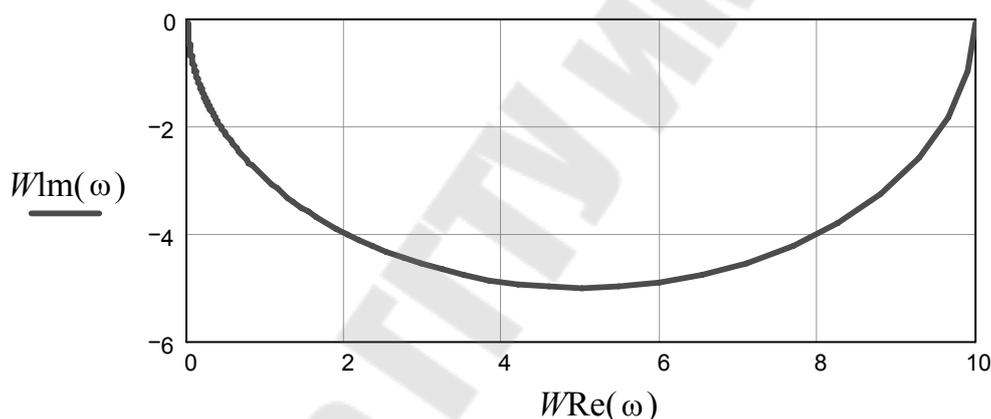


Рис. 2.3. Амплитудно-фазочастотная характеристика апериодического звена 1-го порядка

Связь между АЧХ и ФЧХ звена, с одной стороны, и ВЧХ и МЧХ, с другой стороны, представляется следующими выражениями:

$$A(\omega) = \sqrt{U^2(\omega) + V^2(\omega)}; \quad \varphi(\omega) = \operatorname{arctg} \frac{V(\omega)}{U(\omega)};$$

$$U(\omega) = A(\omega) \cos \varphi(\omega); \quad V(\omega) = A(\omega) \sin \varphi(\omega).$$

При проектировании САР широко применяют частотные характеристики, представляемые в логарифмическом масштабе. Для построения логарифмической амплитудной частотной характеристики (ЛАЧХ) по оси абсцисс откладывают частоту в логарифмическом масштабе. За единицу изменения логарифма частоты принята декада (дек) – деся-

тикратное изменение частоты. По оси ординат откладывают логарифмическую амплитуду, которую определяют из выражения:

$$L(\omega) = 20 \lg A(\omega).$$

Единицей измерения $L(\omega)$ принят децибел (дБ). Для апериодического звена 1-го порядка ЛАЧХ определяется по выражению:

$$L(\omega) = 20 \lg k - 20 \lg \sqrt{1 + T^2 \omega^2}.$$

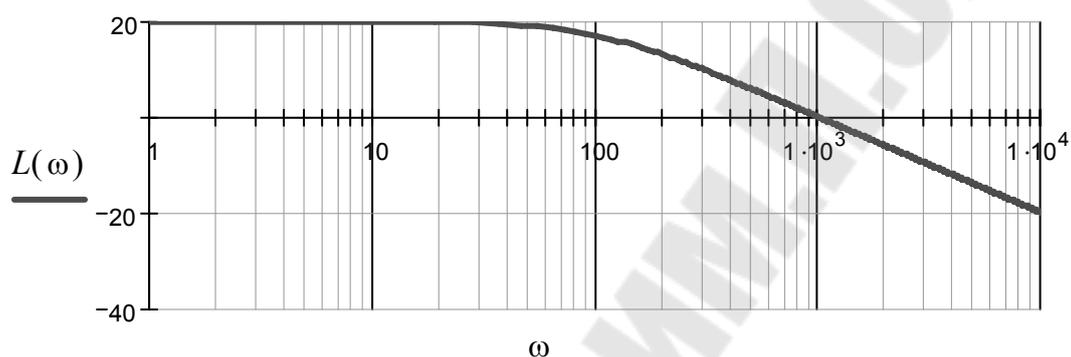


Рис. 2.4. Логарифмическая амплитуда частотной характеристики апериодического звена 1-го порядка

При построении логарифмической фазовой частотной характеристики (ЛФЧХ) используют общую с ЛАЧХ ось абсцисс, а по оси ординат откладывают в линейном масштабе угол сдвига фаз $\varphi(\omega)$ в градусах или в радианах.

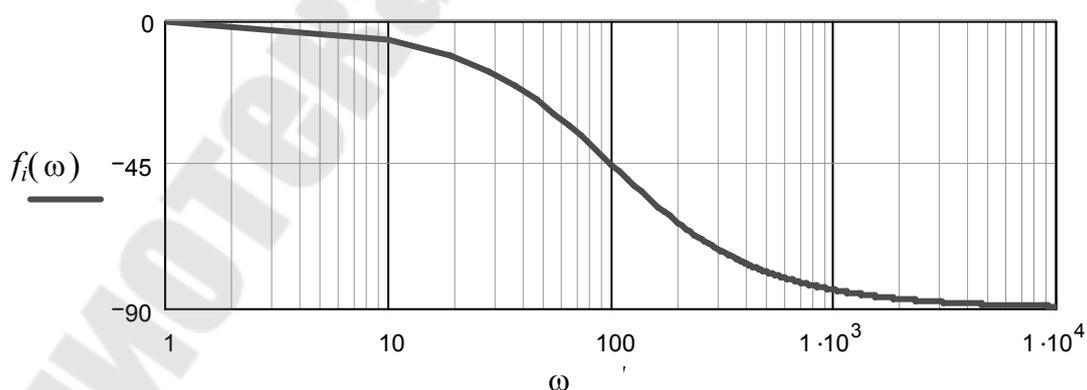


Рис. 2.5. Логарифмическая фазовая частотная характеристика апериодического звена 1-го порядка

Задание и порядок выполнения работы

1. Ознакомьтесь с теорией о частотных характеристиках.
2. Ответив на вопросы преподавателя, получите допуск к лабораторной работе.
3. Просмотрите файл лабораторной работы на персональном компьютере E: users/TAR/tar_lab_2.
4. Постройте АЧХ, ФЧХ, АФЧХ, ЛАФЧХ апериодического 1-го порядка, колебательного звеньев и интегродифференцирующего звеньев, по индивидуальным значениям их параметров (табл. 2.1).
5. Исследуйте влияние изменения параметров (увеличения и уменьшения) на характер изменения частотных характеристик.
6. В отчете должны быть представлены: вариант и значения параметров, математическое описание звеньев, диаграммы частотных характеристик и вывод о влиянии параметров на вид характеристик.
7. Графики частотных характеристик должны быть информативны, как это показано на рис. 2.1–2.5.

Таблица 2.1

№	k_1	T_1	k_2	T_2	ξ	k_3	T_3	T_4
1	1,0	0,4	1,1	0,3	0,5	1,1	0,31	0,51
2	1,2	0,42	1,3	0,32	0,52	1,3	0,33	0,53
3	1,4	0,44	1,5	0,34	0,54	1,5	0,35	0,55
4	1,6	0,46	1,7	0,36	0,56	1,7	0,37	0,57
5	1,8	0,48	1,9	0,38	0,58	1,9	0,39	0,59
6	2,0	0,5	2,1	0,4	0,6	2,1	0,41	0,61
7	1,1	0,41	1,0	0,31	0,51	1,0	0,4	0,31
8	1,3	0,43	1,2	0,33	0,53	1,2	0,42	0,33
9	1,5	0,45	1,4	0,35	0,55	1,4	0,44	0,35
10	1,7	0,47	1,6	0,37	0,57	1,6	0,46	0,37
11	1,9	0,49	1,8	0,39	0,59	1,8	0,48	0,39
12	2,1	0,51	2,0	0,41	0,61	2,0	0,5	0,41
13	2,2	0,52	2,2	0,42	0,62	2,2	0,47	0,42
14	2,3	0,53	2,3	0,43	0,63	2,3	0,49	0,43
15	2,4	0,54	2,4	0,44	0,64	2,4	0,51	0,44

Лабораторная работа № 3
**Передаточные функции систем
автоматического регулирования**

Цель работы: получить выражения передаточных функций для одноконтурной САР; построить графики регулируемой величины САР и сигнала рассогласования.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение передаточной функции звена, САР.
2. Как получают ПФ разомкнутой САР?
3. К чему в идеале должна стремиться ПФ по сигналу ошибки?
4. На основе какого фундаментального принципа и почему проводится учет влияния на одноконтурную САР управляющего и возмущающего воздействий?
5. Что характеризует ПФ разомкнутой САР?
6. Что общего между выражениями для ПФ замкнутой САР?
7. Как определяется ПФ САР по возмущающему воздействию?
8. Что характеризует ПФ САР относительно задающего воздействия?
9. Как получить аналитическое выражение для регулируемой величины, если помимо задающего воздействия присутствуют 2 возмущающих воздействия?

Краткие теоретические сведения

*Определение передаточной функции разомкнутой
системы автоматического регулирования*

Для проектирования САР обычно необходимы ПФ разомкнутой САР, а также передаточные функции замкнутой САР относительно задающего воздействия, относительно каждого из возмущений и для ошибки слежения. Определим эти ПФ для одноконтурной САР (рис. 3.1). Элементы этой схемы имеют следующие ПФ:

$$W_1 = \frac{k_1 R_1}{Q_1}; \quad W_2 = \frac{k_2 R_2}{Q_2}; \quad W_0 = \frac{k_0 R_0}{Q_0},$$

где k_0, k_1, k_2 – передаточные коэффициенты; R_i, Q_i – полиномы от S (некоторые из них могут быть равными 1).

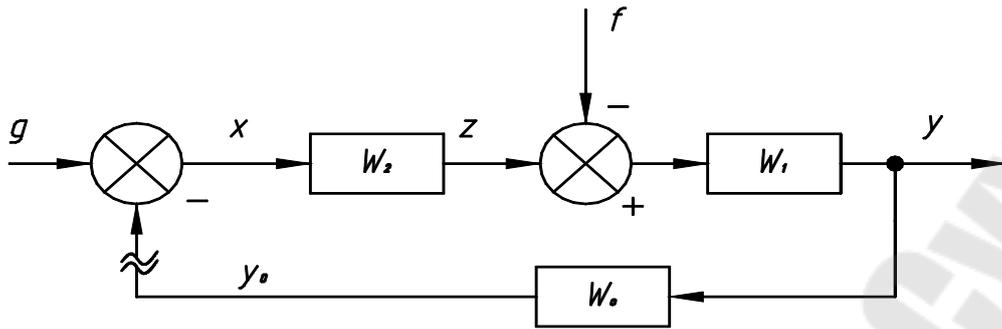


Рис. 3.1. Структурная схема одноконтурной системы автоматического регулирования

Передаточная функция разомкнутой САР есть отношение изображения Y_0 сигнала обратной связи y_0 к изображению G задающего воздействия g . При этом контур регулирования предполагают разомкнутым около элемента сравнения, как показано на рис. 3.1, волнистыми линиями. Для рассматриваемой САР:

$$W = W_0 W_1 W_2 = \frac{kR}{Q}, \quad (3.1)$$

где $k = k_0 k_1 k_2$ – передаточный коэффициент разомкнутой САР; $R = R_0 R_1 R_2$ и $Q = Q_0 Q_1 Q_2$.

Передаточная функция W характеризует собственные динамические свойства системы и позволяет определить её устойчивость, а также выбрать корректирующие устройства для улучшения свойств системы. Для определения устойчивости используют характеристический полином системы $D = D(S)$, равный сумме числителя и знаменателя ПФ разомкнутой системы, поделенной на сумму их свободных членов. У рассматриваемой системы:

$$D = Q + k \cdot R. \quad (3.2)$$

Определение передаточных функций замкнутой системы автоматического регулирования

Передаточная функция замкнутой САР относительно влияния его воздействия есть отношение изображения $Y(S)$ регулируемой величины $y(t)$ к изображению задающего воздействия:

$$W_g(S) = \frac{Y(S)}{G(S)}.$$

При этом предполагается, что других внешних воздействий нет. Таким образом, с учетом формул (3.1) и (3.2) для рассматриваемой САР получим выражение:

$$W_g = \frac{W_1 W_2}{1 + W} = \frac{W_1 W_2}{1 + W_0 W_1 W_2} = \frac{k_g R_g}{D},$$

где $k_g = k_1 k_2 / 1 + k$ – передаточный коэффициент системы относительно задающего воздействия; $R_g = R_1 R_2 Q_0$.

Передаточная функция W_g характеризует передачу системой задающего воздействия, т. е. его воспроизведение регулируемой величиной. Воспроизведение тем лучше, чем ближе значения W_g к идеальному: $W_g = 1/k_0$.

Передаточная функция САР для ошибки слежения есть отношение изображения $X(S)$ рассогласования (ошибки) $x(t) = g(t) - y_0(t)$ к изображению задающего воздействия при отсутствии других внешних воздействий. У рассматриваемой системы:

$$W_x = \frac{1}{1 + W} = \frac{1}{1 + W_0 W_1 W_2} = \frac{k_x R_x}{D},$$

где $k_x = 1/1 + k$ – передаточный коэффициент системы для ошибки слежения; $R_x = Q_0 Q_1 Q_2$.

Передаточная функция W_x так же, как и W_g , характеризует воспроизведение регулируемой величиной задающего воздействия. Воспроизведение тем лучше, чем ближе значение W_x к идеальному: $W_x = 0$.

Передаточная функция САР относительно возмущения есть отношение изображения регулируемой величины к изображению $F(S)$ возмущения $f(t)$. При этом предполагают, что других внешних воздействий нет. Для рассматриваемой системы:

$$W_f = \frac{W_1}{1 + W} = \frac{W_1}{1 + W_0 W_1 W_2} = \frac{k_f R_f}{D},$$

где $k_f = k_1 / 1 + k$ – передаточный коэффициент системы относительно возмущения; $R_f = R_1 Q_0 Q_2$.

Передаточная функция W_f показывает влияние возмущения f на регулируемую величину y . Возмущение отклоняет регулируемую величину от требуемого значения и понижает точность воспроизведения задающего воздействия. Таким образом, возмущение оказывает

вредное влияние на САР. Оно тем меньше, чем ближе значение W_f к идеальному: $W_f = 0$.

Если на систему действует несколько возмущений, то имеет смысл определить ПФ относительно каждого из возмущений. Следует заметить, что знаменателем всех ПФ замкнутой САР является характеристический полином D .

Передаточные функции W_g и W_f позволяют определить составляющие изображения Y регулируемой величины, создаваемые соответственно задающим воздействием и возмущением. В линейных САР справедлив принцип суперпозиции, т. е. влияние каждого из внешних воздействий не зависит от остальных, и влияния всех воздействий суммируются. Поэтому изображение регулируемой величины равно сумме его составляющих:

$$Y = W_g G + W_f F. \quad (3.3)$$

При этом чаще всего второе слагаемое оказывается отрицательным. После подстановки значений W_g и W_f уравнение (3.3) принимает вид:

$$DY = k_g R_g G + k_f R_f F. \quad (3.4)$$

Ниже приведен график изменения регулируемой величины САР.

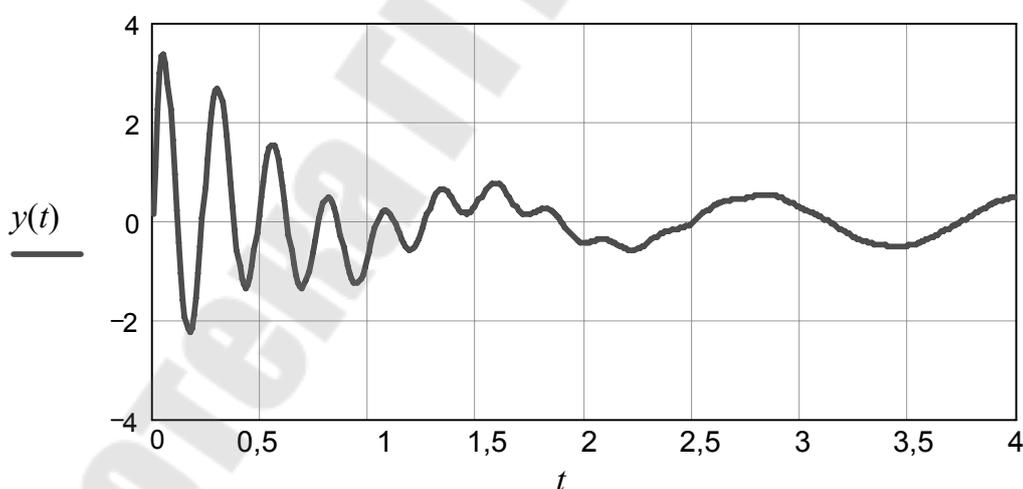


Рис. 3.2. Характер изменения регулируемой величины $y(t)$

Заменив комплексную величину S в полиномах D , R_g и R_f уравнения (3.4) оператором дифференцирования $p = d/dt$ и изображения Y , G и F на функции времени получим дифференциальное уравнение для регулируемой величины:

$$D(p)y(t) = k_g R_g(p)g(t) + k_f R_f(p)f(t). \quad (3.5)$$

Аналогично по ПФ W_x и W_f могут быть составлены уравнения для изображения сигнала рассогласования:

$$X = W_x G + W_0 W_f F.$$

Аналогично выражению (3.5) формируется дифференциальное уравнение для сигнала рассогласования:

$$D(p)x(t) = k_x R_x(p)g(t) + k_0 k_f R_f(p) \frac{R_0(p)}{Q_0(p)} f(t).$$

В результате ПФ представляется в виде дроби с полиномами в числителе и знаменателе, причем коэффициенты полиномов функционально зависят от параметров (k, T) отдельных звеньев САР.

Задание и порядок выполнения работы

1. Ознакомьтесь с материалом о ПФ одноконтурной САР.
2. Ответив на вопросы преподавателя, получите допуск к лабораторной работе.
3. Просмотрите файл лабораторной работы на персональном компьютере E: users/TAR/tar_lab_3.
4. Определите ПФ разомкнутой и замкнутой САР в соответствии с заданием.
5. Сформируйте изображение по Лапласу для регулируемой величины и сигнала рассогласования (ошибки).
6. При помощи встроенного в MathCAD оператора выполните обратное преобразование Лапласа и постройте графики двух вышеперечисленных сигналов во временном диапазоне.

Лабораторная работа № 4

Анализ устойчивости системы автоматического регулирования по алгебраическому критерию Гурвица

Цель работы: на основе алгебраического критерия устойчивости провести исследование зависимости устойчивости САР от её параметров.

Контрольные вопросы

1. Как из характеристического полинома разомкнутой САР получить матрицу Якоби?
2. Сформулируйте необходимое и достаточное (для характеристического полинома 3-го порядка) условия устойчивости САР.
3. Сформулируйте критерий устойчивости Гурвица.

4. Назовите другие алгебраические критерии устойчивости, укажите их особенности.
5. Что можно сказать об устойчивости, если ПФ разомкнутой САР имеет пару мнимых корней в знаменателе?
6. С какой целью были сформулированы критерии устойчивости САР?
7. Как формируется характеристический полином?
8. Что можно сказать об устойчивости замкнутой САР, если ПФ разомкнутой САР имеет вид: $W(S) = k / a_4 S^4 + a_3 S^3 + a_2 S^2$?
9. Как при помощи критерия Гурвица определить запас устойчивости САР?

Краткие теоретические сведения

Система автоматического регулирования является устойчивой, если после прекращения внешнего воздействия она по истечении некоторого времени возвращается к тому состоянию равновесия или вынужденного движения, в котором находилась до начала воздействия.

Анализ устойчивости выполняется на основе характеристического уравнения разомкнутой САР, представляющей собой приравненную к нулю сумму числителя и знаменателя ПФ разомкнутой САР. Для устойчивости линейной САР необходимо и достаточно, чтобы вещественные части всех корней характеристического уравнения (4.1) были отрицательными:

$$D(S) = a_n S^n + a_{n-1} S^{n-1} + \dots + a_1 S + a_0 = 0. \quad (4.1)$$

Критерий устойчивости – это математическая формулировка условий, которым удовлетворяют коэффициенты характеристического уравнения устойчивой системы. Коэффициентами характеристического уравнения являются параметры ПФ САР, что позволяет выбирать их исходя из обеспечения условия устойчивости.

Матрица Якоби (определитель Гурвица) может быть составлена для уравнения любого порядка. По главной диагонали слева направо выписываются все коэффициенты уравнения, начиная с a_{n-1} при втором члене и кончая a_1 при предпоследнем члене. Столбцы от диагонали вверх дополняются коэффициентами с индексами последовательно убывающими на единицу, а столбцы от диагонали вниз дополняются коэффициентами с возрастающими индексами. Все места, которые должны были бы заполняться коэффициентами выше a_n и ниже a_0 заполняются нулями. Пример формирования определителя Гурвица для характеристического уравнения 6-го порядка приведен ниже.

Задание и порядок выполнения работы

1. Ознакомьтесь с понятием устойчивости и алгебраически ми критериями устойчивости.
2. Ответив на вопросы преподавателя, получите допуск к лабораторной работе.
3. Просмотрите файл лабораторной работы на персональном компьютере E: users/TAR/tar_lab_4.
4. Подберите величину параметров ПФ звеньев САР таким образом, чтобы обеспечивалась её устойчивость. При этом диапазон изменения параметров $1 \leq k_i \leq 10$; $0,01 \leq T_i \leq 0,9$.
5. Определите ПФ разомкнутой системы и характеристический полином.
6. Оцените устойчивость замкнутой САР по соотношению коэффициентов характеристического уравнения.
7. Определите устойчивость замкнутой САР по диагональным минорам матрицы Якоби (определителя Гурвица).

Лабораторная работа № 5

Анализ устойчивости системы автоматического регулирования по частотному критерию устойчивости Найквиста

Цель работы: ознакомиться с частотными критериями устойчивости; проанализировать влияние параметров САР на устойчивость и величину запаса устойчивости.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте критерий устойчивости Найквиста, если разомкнутая САР устойчива.
2. Будет ли устойчива замкнутая САР, если фаза разомкнутой САР на частоте среза равна -193° ?
3. Перечислите причины относительно широкого использования критерия Найквиста в практике исследования САР.
4. Как будет выглядеть годограф Найквиста, если в знаменателе частотной ПФ отсутствует свободный член?
5. Как на ЛАФЧХ определяется запас устойчивости САР по амплитуде?
6. Сформулируйте критерий устойчивости Михайлова.

7. Что можно сказать об устойчивости САР, если годограф Михайлова проходит через начало координат?

8. Сформулируйте понятие «критический коэффициент передачи разомкнутой САР».

9. Как влияет на запас устойчивости присутствие в САР звена с транспортным запаздыванием?

Краткие теоретические сведения

Определение устойчивости по амплитудной фазочастотной характеристике разомкнутой системы автоматического регулирования

Частотный критерий устойчивости Найквиста дает возможность определить устойчивость замкнутой системы по амплитудно-фазовой частотной характеристике (АФЧХ) $\bar{W}(j\omega)$ её разомкнутой цепи, если удовлетворяется условие (технической реализуемости системы), при котором порядок полинома в числителе ПФ разомкнутой системы меньше, чем у полинома в знаменателе. Это требование характерно для любых реальных систем. Предварительно САР исследуется на устойчивость по критерию Гурвица. Для неустойчивой разомкнутой системы следует определить, какое количество корней её характеристического полинома имеет положительные вещественные части.

В одноконтурной САР, полученной из структурной схемы рис. 5.1, состоящей из последовательно соединенных звеньев (W_1, W_2, W_3, W_4, W_5). Корни характеристических полиномов этих звеньев являются одновременно корнями полинома разомкнутой системы.

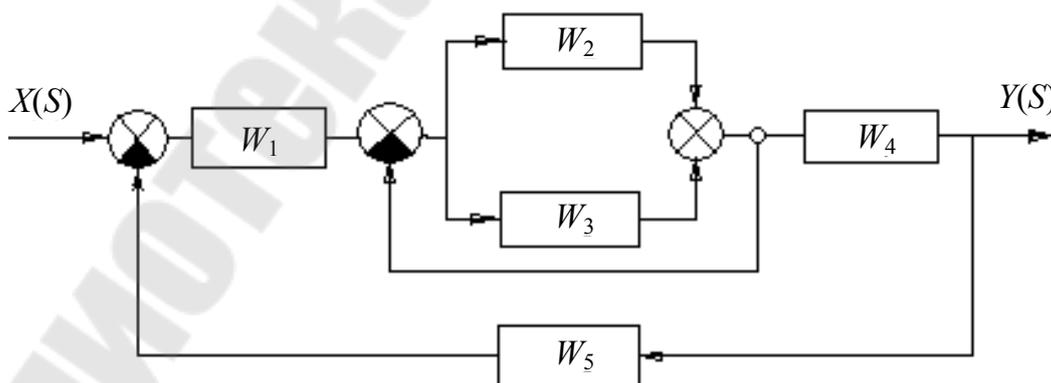


Рис. 5.1. Структурная схема системы автоматического регулирования

Передаточные функции звеньев САР:

$$W_1(S) = \frac{k_1}{T_0^2 S^2 + T_1 S + 1}; \quad W_2(S) = \frac{k_2}{T_2 S + 1}; \quad W_3(S) = k_3;$$

$$W_4(S) = \frac{k_4}{S}; \quad W_5(S) = k_5.$$

Значения параметров ПФ звеньев САР:

$$k_1 = 5,3; \quad k_2 = 4,2; \quad k_3 = 2,5; \quad k_4 = 3,5; \quad k_5 = 1,4;$$

$$T_0 = 0,07; \quad T_1 = 0,25; \quad T_2 = 0,65.$$

Определение ПФ разомкнутой САР – $W(S)$.

$$W_{23}(S) = W_2(S) + W_3(S);$$

$$W_{23\exists}(S) = \frac{W_{23}(S)}{1 + W_{23}(S)}; \quad W_{\text{прц}}(S) = W_1(S)W_{23\exists}(S)W_4(S);$$

$$W(S) = W_{\text{прц}}(S)W_5(S). \quad (5.1)$$

Подставляя в выражение (5.1) передаточные функции и проведя некоторые преобразования, получим выражение для $W(S)$ в зависимости от параметров ПФ звеньев:

$$W(S) = \frac{b_1 S + b_0}{a_4 S^4 + a_3 S^3 + a_2 S^2 + a_1 S},$$

$$\text{где } a_4 = T_0^2 T_2 (k_3 + 1); \quad a_4 = 0,011;$$

$$a_3 = T_1 T_2 (k_3 + 1) + T_0^2 (k_3 + k_2 + 1); \quad a_3 = 0,606;$$

$$a_2 = T_2 (k_3 + 1) + T_1 (k_3 + k_2 + 1); \quad a_2 = 4,2;$$

$$a_1 = k_3 + k_2 + 1; \quad a_1 = 7,7;$$

$$b_1 = T_2 k_1 k_3 k_4 k_5; \quad b_1 = 42,2;$$

$$b_0 = k_1 k_4 k_5 (k_2 + k_3); \quad b_0 = 173,999.$$

В результате по полученному выражению ПФ разомкнутой САР строим годограф Найквиста (рис. 5.2) и ЛАФЧХ (рис. 5.4)

Если САР в разомкнутом состоянии устойчива, то для устойчивости замкнутой системы необходимо и достаточно, чтобы АФЧХ ра-

замкнутой системы при изменении частоты от нуля до бесконечности не охватывала точку с координатами $(-1, j0)$ на рис. 5.2.

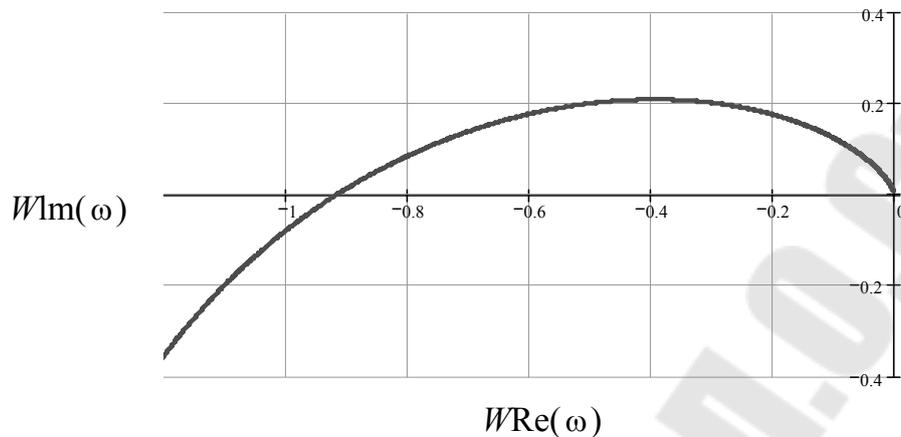


Рис. 5.2. Амплитудно-фазочастотная характеристика устойчивой системы автоматического регулирования

Определение запаса устойчивости по логарифмическим частотным характеристикам разомкнутой системы автоматического регулирования

Критерий Найквиста позволяет выяснить устойчивость замкнутой системы не только по АФЧХ, но также и по логарифмическим частотным характеристикам разомкнутой системы. Эта возможность используется весьма широко вследствие простоты построения таких характеристик и определения по ним запаса устойчивости (рис. 5.3).

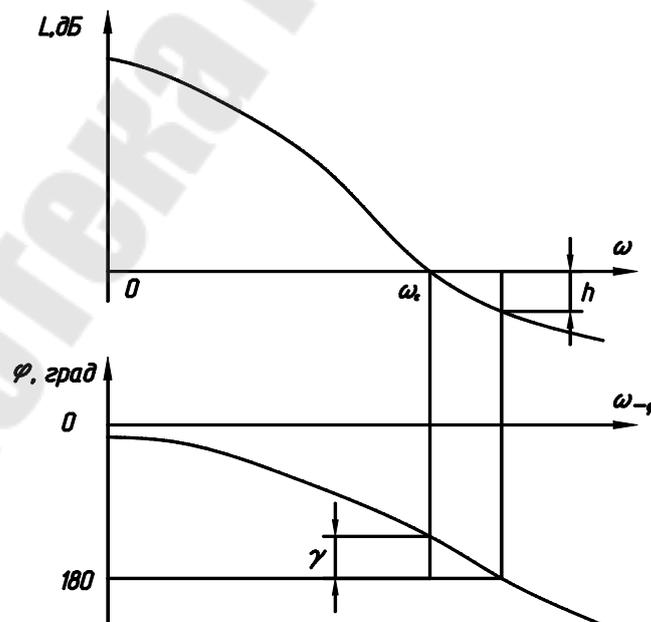


Рис. 5.3. Определение запаса устойчивости по логарифмическим частотным характеристикам разомкнутой системы

Результаты расчета запаса устойчивости, выполненные по приведенным на рис. 7.4 ЛАФЧХ, приведены ниже.

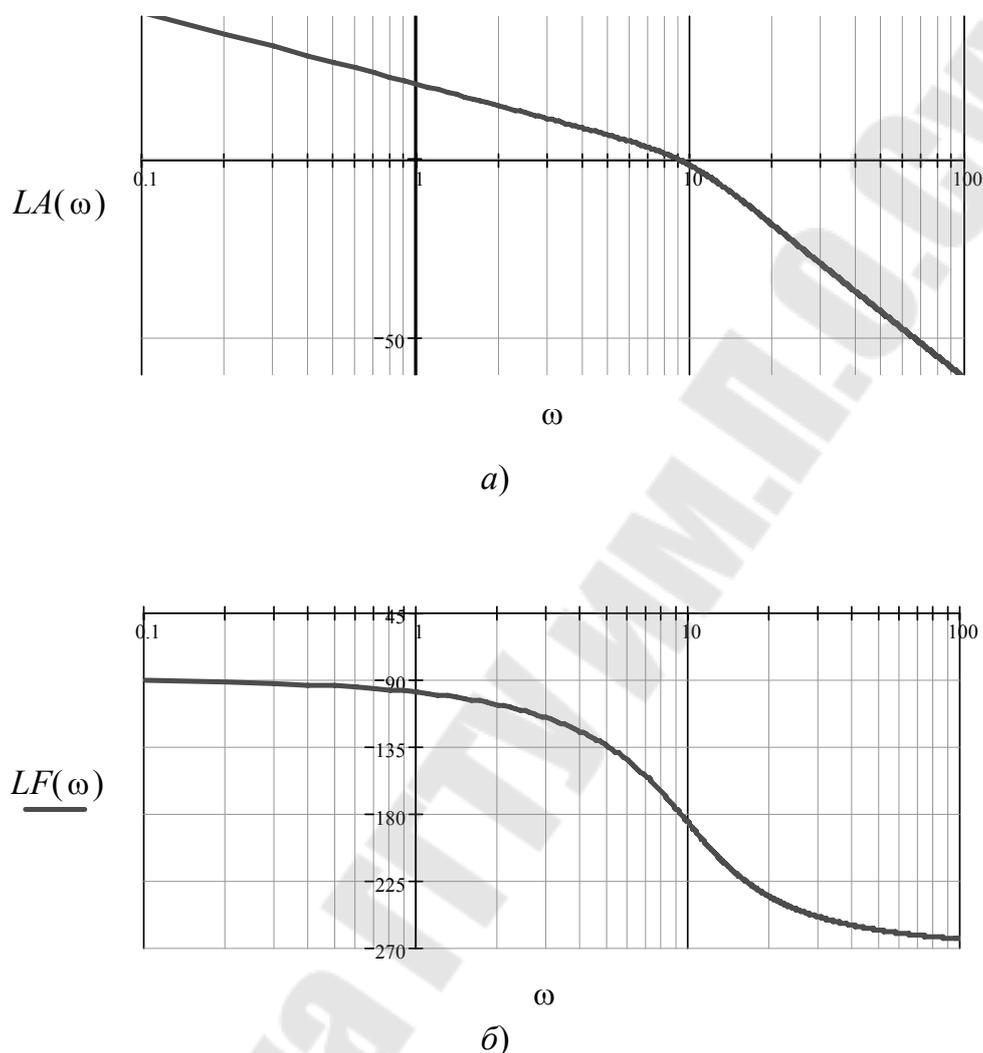


Рис. 5.4. Логарифмические частотные характеристики устойчивой системы автоматического регулирования:
a – логарифмическая амплитуда частотной характеристики;
б – логарифмическая фазовая частотная характеристика

Запас устойчивости по фазе составляет $\Delta\varphi = 15,3$ град.

Запас устойчивости по амплитуде составляет $\Delta L = -8,4$ дБ.

Задание и порядок выполнения работы

1. Ознакомьтесь с материалом о частотных критериях устойчивости Найквиста и Михайлова.
2. Ответив на вопросы преподавателя, получите допуск к лабораторной работе.

3. Просмотрите файл лабораторной работы на персональном компьютере E: users/TAR/tar_lab_5.
4. Получите выражения для передаточной функции замкнутой САР и переходной характеристики.
5. Рассчитайте запас устойчивости по фазе и амплитуде для своего варианта.
6. Определите, как влияет на изменение запаса устойчивости 10 % колебания значений параметров ПФ САР.

Лабораторная работа № 6
Анализ качества регулирования системы
автоматического регулирования по временным
и частотным характеристикам

Цель работы: проанализировать влияние параметров САР и запаса устойчивости на показатели качества.

Контрольные вопросы

1. По каким параметрам оценивается качество переходного процесса САР по переходной характеристике?
2. Что такое относительная статическая ошибка регулирования?
3. Назовите косвенные методы оценки качества переходных процессов.
4. На каком предположении основывается получение приближенных выражений для показателей качества переходной характеристики?
5. Что представляет собой изображение импульсной переходной характеристики САР?
6. Как связаны между собой начальные и конечные значения переходной и вещественной частотной характеристик?
7. Чем определяется величина времени переходного процесса?
8. Как из ПФ разомкнутой САР получить выражение для оценки показателя колебательности?
9. Для чего вводится понятие «полоса пропускания САР»?

Краткие теоретические сведения

Среди возможных режимов САР важное значение имеет переходный процесс, возникающий при быстром (в пределах мгновенном) изменении задающего воздействия или возмущения от одного значения до другого. Чем с большей скоростью и плавностью протекает такой процесс, тем меньше продолжительность и величина рассогласо-

вания. Поэтому одной из оценок качества регулирования (прямой оценкой) служит оценка качества переходной характеристики САР относительно задающего воздействия. При этом имеется в виду, что чем лучше переходная характеристика, тем лучше система будет обрабатывать произвольное задающее воздействие. Переходные характеристики бывают колебательными и монотонными. Особенность колебательной переходной характеристики в наличии переходов через установившееся значение (перерегулирований).

К основным показателям качества переходной характеристики относят перерегулирование σ и время регулирования t_p . Перерегулированием (выражают в процентах) оценивают разность между максимальным значением переходной характеристики и ее установившемся значением:

$$\sigma = \frac{h_{\max} - h_y}{h_y} 100.$$

В большинстве случаев требуется, чтобы перерегулирование не превышало 10–30 %. Иногда требуется, чтобы перерегулирование отсутствовало и процесс был монотонным. В некоторых САР допускают перерегулирование до 50 % и более.

Временем регулирования оценивают длительность переходного процесса. Однако в идеальной линейной системе переходный процесс бесконечен, поэтому временем регулирования t_p считают промежуток времени, по истечении которого отклонения переходной характеристики h от установившегося значения h_y не превышают допустимого значения Δ :

$$|h - h_y| \leq \Delta h_y.$$

Значение Δ выбирают обычно равным 5 %. Иногда устанавливают $\Delta = 2$ %, но такой выбор следует дополнительно оговаривать. При заданных значениях σ и t_p переходная характеристика не должна выходить из определенной области, называемой областью допустимых отклонений. Существенным показателем качества служит также число колебаний, т. е. число максимумов характеристики за время регулирования. Обычно бывает одно-два колебания, и допускается до 3–4 колебаний.

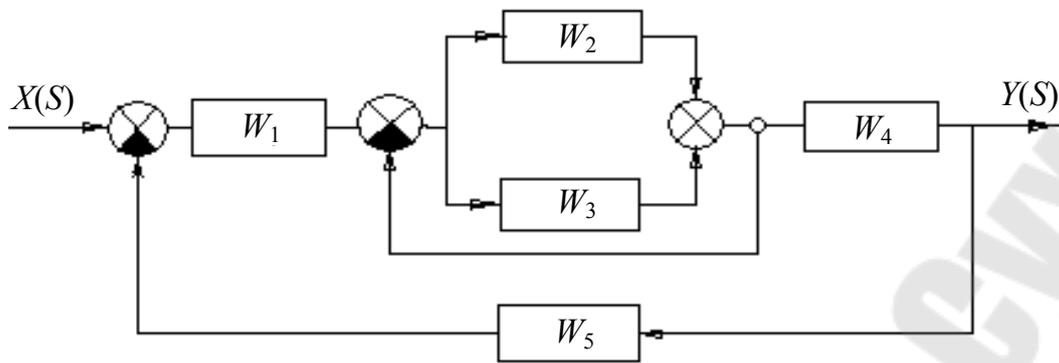


Рис. 6.1. Структурная схема системы автоматического регулирования

В последующих расчетах используем данные и результаты лабораторной работы № 5.

Изображение по Лапласу для переходной характеристики САР, приведенной на рис. 6.1, имеет вид:

$$H(S) = \frac{b_1 S + b_0}{a_5 S^5 + a_4 S^4 + a_3 S^3 + a_2 S^2 + a_1 S} \quad (6.1)$$

или после преобразованиями в соответствии с корнями полинома:

$$S_1 = -48,393; S_2 = -4,132; S_3 = -0,94 + j8,785; S_4 = -0,94 - j8,785,$$

где $\alpha = 0,94$; $\beta = 8,785$.

В результате имеем выражение:

$$H(S) = k \frac{\tau S + 1}{S(T_1 S + 1)(T_2 S + 1)(T^2 S^2 + 2\xi T S + 1)},$$

где $T_1 = -1/S_1$; $T_2 = -1/S_2$; $T = \frac{1}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}$; $\xi = \frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}$; $k = b_0 / a_1$;

$\tau = b_1 / b_0$; $k = 0,714$; $\tau = 0,243$; $T_1 = 0,021$; $T_2 = 0,242$; $T = 0,113$; $\xi = 0,106$.

Подставляя значения параметров в (6.1), получим правую часть уравнения:

$$\frac{0,714(0,243S + 1)}{6,407 \cdot 10^{-5} S^5 + 3,48610^{-3} S^4 + 0,024 S^3 + 0,287 S^2 + S}$$

Это выражение с помощью оператора обратного преобразования Лапласа преобразуется к виду:

$$h(t) = h_1(t) + h_2(t),$$

где $h_1(t) = 0,714 - 2,39 \cdot 10^{-2} \cdot \exp(-48,39t) + 5,46 \cdot 10^{-4} \cdot \exp(-4,13t)$;

$$h_2(t) = -0,69 \cdot \exp(-0,94t) \cdot \cos(8,79t) - 0,2 \cdot \exp(-0,94t) \cdot \sin(8,79t).$$

График переходной характеристики $h(t)$ приведен на рис. 6.2 сплошной линией. Поскольку ПХ зависит в основном от доминирующих корней, наиболее близко расположенных к мнимой оси, постольку, принимая во внимание пару комплексно-сопряженных корней, можем использовать приближенное выражение для ПХ:

$$H(t) = k \left[1 - \left(\frac{1}{\beta \cdot T} \right) \cdot e^{-\alpha t} \cdot \sin \left[\beta \cdot t + \operatorname{arctg} \left(\frac{\beta}{\alpha} \right) \right] \right].$$

График приближенной переходной характеристики $H(t)$ приведен на рис. 6.2 кривой из точек. Как видно из диаграмм, различие между ПХ полученными двумя способами крайне незначительно.

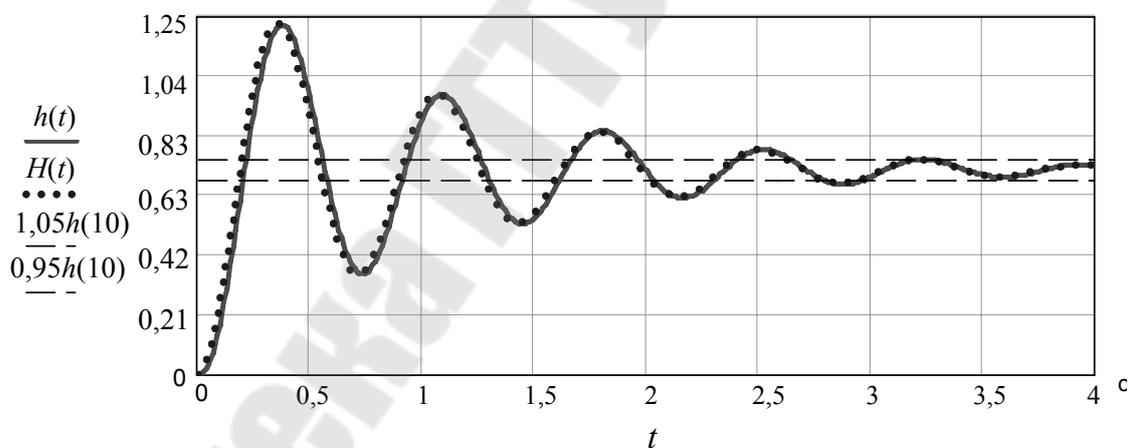


Рис. 6.2. Переходная характеристика системы автоматического регулирования

По доминирующей паре корней можно приближенно определить показатели качества ПХ и, в частности, время регулирования и перерегулирование:

$$t_p = \frac{3 + \ln(1 + (\alpha/\beta)^2)^{0,5}}{\alpha}; \quad \sigma = e^{-\pi \frac{\alpha}{\beta}} \cdot 100 \%;$$

$$t_p = 3,198; \quad \sigma = 71,5 \%.$$

Выражение для ПФ замкнутой САР получается при охвате разомкнутой цепи жесткой единичной, отрицательной обратной связью или же, рассчитав встречно-параллельное соединение, состоящее из $W_{\text{прц}}(S)$ и $W_5(S)$:

$$W(S) = \frac{W_{\text{прц}}(S)}{1 + W_{\text{прц}}(S) W_5(S)}$$

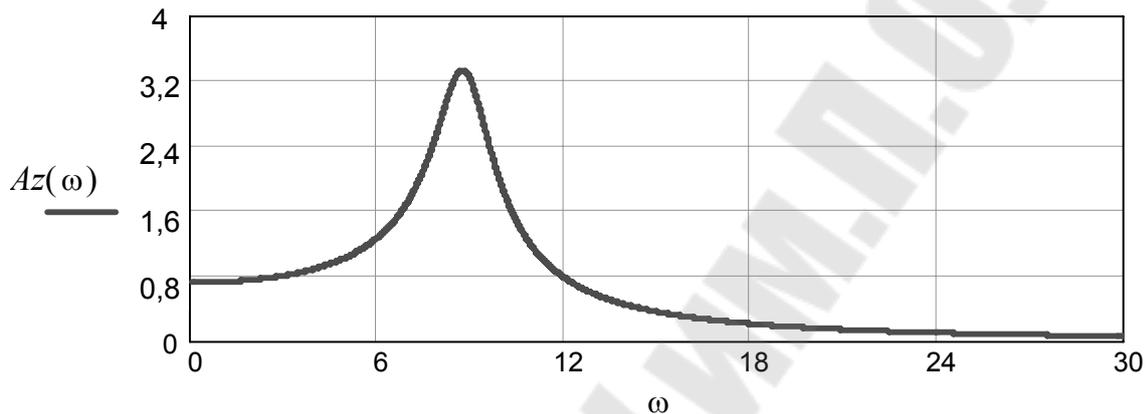


Рис. 6.3. Амплитудно-частотная характеристика замкнутой системы автоматического регулирования

Для определения показателя колебательности необходимо получить аналитическое выражение для АЧХ. Для этого воспользуемся методикой преобразования ПФ замкнутой САР по регулируемому воздействию, приведенной в лабораторной работе № 2.

Показатель колебательности определяется как отношение максимального значения АЧХ к значению АЧХ при $\omega = 0$:

$$M = \frac{A_{\text{max}}}{A(0)}; \quad M = 4,59.$$

Расчет показателя колебательности по доминирующей паре корней:

$$m = \frac{1}{2\xi\sqrt{1-\xi^2}}; \quad m = 4,726.$$

Результаты определения показателей качества точным и приближенным способами расчета представлены в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Тип расчета	t_p [с]	σ [%]	M [-]
Точный	3,33	70,6	4,59
Приближенный	3,198	71,5	4,726
Ошибка [%]	3,1	1,3	2,97

Задание и порядок выполнения работы

1. Ознакомьтесь с материалом о задаче анализа качества регулирования в линейных САР.
2. Ответив на вопросы преподавателя, получите допуск к лабораторной работе.
3. Просмотрите файл лабораторной работы на персональном компьютере E: users/TAR/tar_lab_6.
4. Постройте график ПХ САР, учитывающий все корни.
5. Постройте приближенный график ПХ САР, учитывающий доминирующий корень или пару доминирующих корней.
6. Постройте график АЧХ замкнутой САР.
7. Определите приближенные показатели качества по аналитическим выражениям.
8. Сравните между собой истинные и приближенные значения показателей качества. Сделайте выводы относительно ошибки определения показателей качества.

Литература

1. Ксеневи́ч, И. П. Теория и проектирование автоматических систем : учебник для студентов вузов / И. П. Ксеневи́ч, В. П. Тарасик. – Москва : Машиностроение, 1996. – 480 с. : ил.
2. Макаров, И. М. Линейные автоматические системы (элементы теории, методы расчета и справочный материал) / И. М. Макаров, Б. М. Менский. – Москва : Машиностроение, 1982. – 504 с. : ил.
3. Бесекерский, В. А. Теория систем автоматического регулирования / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. – Москва : Наука, 1975. – 768 с.
4. Иващенко, Н. Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем / Н. Н. Иващенко. – Москва : Машиностроение, 1973. – 606 с.
5. Яшугин, Е. Я. Теория линейных непрерывных систем автоматического управления в вопросах и ответах : справ. пособие / Е. Я. Яшугин. – Минск : Выш. шк., 1986 – 224 с. : ил.

Приложение

Образец оформления титульного листа

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический университет
имени П.О. Сухого»

Кафедра «Сельскохозяйственные машины»

ОТЧЕТ

по лабораторным работам по дисциплине
«Теория автоматических систем тракторов и специальных машин»

Выполнил: студент гр. С-31
Кудряшов Е. А.

Принял: преподаватель
Попов В. Б.

Гомель 2007

Содержание

Введение.....	3
Общие положения. Правила оформления отчета о выполненной работе.....	3
Краткие теоретические сведения	4
<i>Лабораторная работа № 1. Временные характеристики типовых звеньев системы автоматического регулирования</i>	<i>9</i>
<i>Лабораторная работа № 2. Частотные характеристики типовых динамических звеньев системы автоматического регулирования.....</i>	<i>13</i>
<i>Лабораторная работа № 3. Передаточные функции систем автоматического регулирования</i>	<i>19</i>
<i>Лабораторная работа № 4. Анализ устойчивости системы автоматического регулирования по алгебраическому критерию Гурвица</i>	<i>23</i>
<i>Лабораторная работа № 5. Анализ устойчивости системы автоматического регулирования по частотному критерию устойчивости Найквиста.....</i>	<i>25</i>
<i>Лабораторная работа № 6. Анализ качества регулирования системы автоматического регулирования по временным и частотным характеристикам.....</i>	<i>30</i>
Литература	36
Приложение	37

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ТРАКТОРОВ И СПЕЦИАЛЬНЫХ МАШИН

**Лабораторный практикум
по одноименному курсу для студентов
специальности 1-36 12 01 «Проектирование
и производство сельскохозяйственной техники»
дневной и заочной форм обучения**

Электронный аналог печатного издания

Автор-составитель: **Попов Виктор Борисович**

Редактор *Н. Г. Мансурова*
Компьютерная верстка *Н. Б. Козловская*

Подписано в печать 29.11.07.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Цифровая печать. Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 2,23.

Изд. № 128.

E-mail: ic@gstu.gomel.by

<http://www.gstu.gomel.by>

Издатель и полиграфическое исполнение:
Издательский центр учреждения образования
«Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого».

ЛИ № 02330/0131916 от 30.04.2004 г.

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.