ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ОРЛОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ И.С. ТУРГЕНЕВА»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ИМЕНИ Н.Н. ПОЛИКАРПОВА

Кафедра машиностроения

М.Ф. Селеменев

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Методические указания
по выполнению лабораторных работ

Дисциплина – «Автоматическое управление на машиностроительном производстве»
Направление – 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»
Специальность – 15.05.01 «Проектирование технологических машин и комплексов»

Орёл
ОГУ имени И.С. Тургенева
2019

Автор: канд. техн. наук, доц. каф. машиностроения М.Ф. Селеменев

Рецензент: д-р техн. наук, проф. каф. машиностроения А.С. Тарапанов

Методические указания по выполнению лабораторных работ позволяют студенту формулировать цели и задачи по дисциплине «Автоматическое управление на машиностроительном производстве».

Предназначены для студентов очного отделения, обучающихся по направлению 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», по специальности 15.05.01 «Проектирование технологических машин и комплексов».

Редактор Л.Ю. Фроленкова
Технический редактор Т.Н. Шаблинская

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Орловский государственный университет имени И.С.Тургенева»

Подписано к печати 15.01.2019 г. Формат 60×90 1/16.
Усл. печ. л. 1,3. Тираж 10 экз.
Заказ №_____

Отпечатано с готового оригинал-макета
на полиграфической базе ОГУ имени И.С. Тургенева
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95.

© Селеменев М.Ф., 2019
© ОГУ имени И.С. Тургенева, 2019

Содержание

1. Лабораторная работа № 1
Типовые звенья САУ 4
2. Лабораторная работа № 2
Исследование устойчивости линейных САУ.....8
3. Лабораторная работа №3
4.Анализ переходных процессов и точности работы САУ 11
Лабораторная работа № 4
Синтез линейных САУ частотным методом.....15
5. Лабораторная работа № 5
Исследование свойств наблюдателей состояния.....18

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1
ТИПОВЫЕ ЗВЕНЬЯ САУ

1. Цель работы

Исследовать динамические характеристики, основные свойства типовых звеньев систем автоматического управления (САУ), а также познакомиться с основными правилами структурного метода.

2. Основные сведения

Всё разнообразие линейных САУ можно, при определённых допущениях, представить в виде комбинации достаточно простых (элементарных) звеньев. Их дифференциальные уравнения (основная динамическая характеристика) имеют невысокий порядок, легко анализируются и позволяют найти все другие часто используемые характеристики: переходную функцию $h(t)$, импульсную переходную функцию $g(t)$, передаточную функцию $W(p)$, частотные характеристики.

В лабораторной работе предлагается исследовать следующие элементарные звенья:

1) интегрирующее, дифференциальное уравнение которого

$$\dot{y} = ku,$$

где y - выходная координата звена; u - входное воздействие; k- коэффициент передачи; передаточная функция звена:

$$W(p)=y(p)/u(p)=k/p.$$

Переходная функция (ПФ) этого звена, как реакция на входное воздействие типа единичной ступенчатой функции $u(t)=1(t)$ при нулевых начальных условиях, может быть найдена интегрированием дифференциального уравнения:

$$h(t) = k \cdot t,$$

Импульсная переходная функция (ИПФ) является производной ПФ звена:

$$g(t)=k \cdot 1(t).$$

Частотные характеристики можно получить, заменив в передаточной функции p на $j\omega$:

$$W(j\omega) \text{ - АФХ;} \qquad A(\omega)=\sqrt{P^2(\omega)+Q^2(\omega)} \text{ - АЧХ;}$$

$$P(\omega)= Re[W(j\omega)] \text{ - ВЧХ;} \quad Q(\omega)=Im[W(j\omega)] \text{ - МЧХ;}$$

$$\varphi(\omega) = arct[Q(\omega)/P(\omega)] \text{ - ФЧХ.}$$

Аналогичным образом указанные характеристики могут быть получены и для других звеньев;

2) апериодическое звено описывается дифференциальным уравнением

$$T\,\dot{y} + y = k\,u$$

где T - постоянная времени, k - коэффициент передачи;

3) колебательное звено имеет дифференциальное уравнение

$$T^2\,\ddot{y} + 2\,d\,T\dot{y} + y = k\,u,$$

где d - коэффициент демпфирования;

4) дифференциальное уравнение реального дифференцирующего звена имеет следующий вид:

$$\mu\,\dot{y} + y = k\,u,$$

а передаточная функция:

$$W(p) = y(p) / u(p) = k\,p\,/(\mu p+1).$$

3.Методические указания

Импульсную переходную характеристику звеньев можно получить, подавая на вход ‘’короткий’’ импульс большой амплитуды, площадь которого равна единице (приближение δ-функции), при нулевых начальных условиях.

В случае если пакет прикладных программ не даёт возможности расчёта частотной характеристики, можно получить её, подавая на вход звена синусоидальное воздействие заданной амплитуды и фиксируя амплитуду и фазу выходного сигнала звена в установившемся режиме (рис.1.1.).

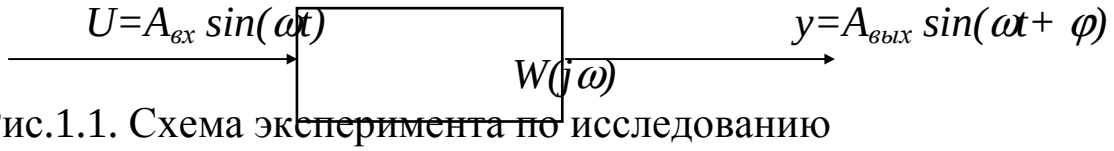


Рис.1.1. Схема эксперимента по исследованию частотных характеристик элементарных звеньев

АЧХ строится по точкам при фиксированных значениях частот ω_i:

$$A(\omega_i)= A_{вых}(\omega_i)/ A_{вх}(\omega_i),$$

а фазочастотная - как разница фаз выходного и входного синусоидальных сигналов.

При исследовании влияния коэффициента μ реального дифференцирующего звена на точность воспроизведения производной необходимо построить колебательное звено на интеграторах (рис.1.2.) и при различных μ фиксировать выходной

сигнал реального дифференцирующего звена и первого интегратора колебательного звена.

4.Порядок выполнения работы

4.1. Используя один из пакетов прикладных программ для исследования САУ (COMPAS, SIMNON, MATLAB), проанализировать свойства модели интегрирующего звена, параметры которого необходимо выбрать из табл.1.1. Получить график переходной функции, импульсной переходной функции.

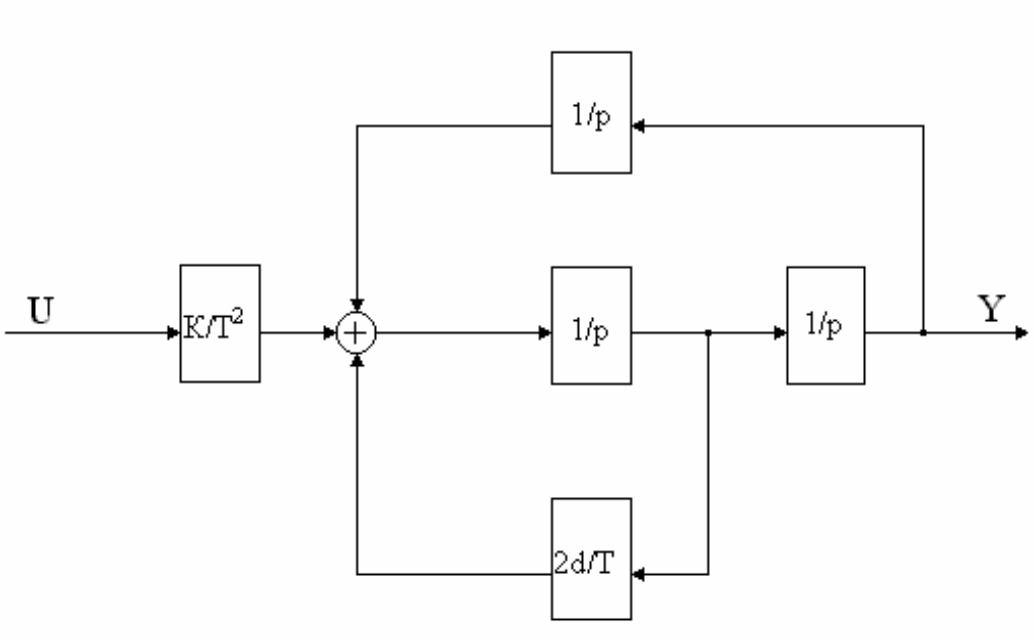


Рис1.2. Схема колебательного звена

4.2. Снять частотные характеристики интегрирующего звена (АЧХ и ФЧХ).

Таблица 1.1.

	Номер варианта								
Параметр									
K	.50	.00	.00	.50	.00	.80	.00	.50	.00
T	.20	.40	.00	.80	.00	.50	.50	.00	.00
d	.40	.50	.10	.30	.60	.80	.30	.40	.00
μ	.05	.10	.50	.15	.30	.20	.08	.60	.40

4.3. Увеличивая и уменьшая *k* интегрирующего звена в два раза оценить его влияние на ПФ и ИПФ.

4.4. Повторить эксперименты п.4.1 для апериодического звена.

4.5. Изменяя последовательно k и T апериодического звена, оценить их влияние на ПФ.

4.6. Провести эксперименты для колебательного звена аналогично п.4.1.

4.7. Изменяя последовательно k, T, d, оценить их влияние на переходную характеристику колебательного звена.

4.8. Исследовать характеристики реального дифференцирующего звена аналогично п.4.1.

4.9. На вход реального дифференцирующего звена подать выходной сигнал колебательного звена и сравнить точное значение производной его выходного сигнала с выходным сигналом реального дифференцирующего звена. Оценить влияние μ на точность воспроизведения производной.

5.Содержание отчёта

5.1. Дифференциальные уравнения, передаточные функции, схемы моделирования, исследуемых звеньев.

5.2. Экспериментально полученные данные по разд.4.

5.3.Экспериментально полученные частотные характеристики интегрирующего звена.

5.4. Выводы по п.п. 4.3.,4.5., 4.7., 4.9.

6.Контрольные вопросы

6.1.Построить ВЧХ, МЧХ, АЧХ, АФХ, колебательного звена исследованного в работе.

6.2. Как влияют величины k, T, d реального дифференцирующего звена на его ЛАЧХ?

6.3.Записать выражение для переходной характеристики апериодического звена и проанализировать влияние k и T на параметры переходного процесса.

6.4.Записать передаточные функции интегратора и апереодического звена, охваченных еденичной отрицательной обратной связью.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2
ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ЛИНЕЙНЫХ САУ

1. Цель работы

Исследование влияния параметров линейной системы (рис.2.1) на ее устойчивость.

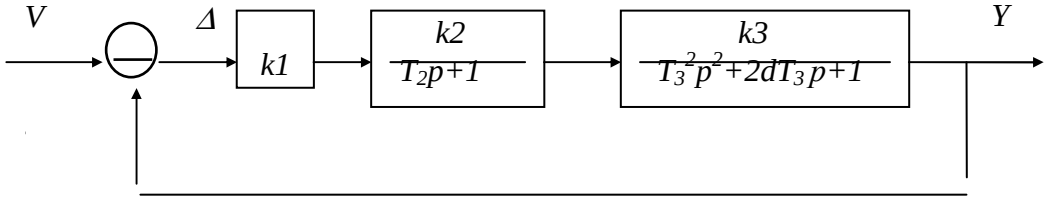


Рис.2.1. Структурная схема исследуемой системы

2. Краткое теоретическое введение

Передаточная функция линейной системы в общем случае имеет вид

$$W(p)=\frac{y}{v}=\frac{B(p)}{A(p)}=\frac{b_m p^m+...+b_1 p+b_0}{a_n p^n+...+a_1 p+a_0}, n\geq m.$$

Алгебраический критерий устойчивости Гурвица предполагает исследование матрицы, составленной из коэффициентов характеристического уравнения:

$$\Gamma=\begin{bmatrix} a_{n-1} & a_{n-2} & ... & 0 & 0 \\ a_n & a_{n-2} & ... & 0 & 0 \\ ... & ... & ... & ... & ... \\ 0 & 0 & ... & a_1 & 0 \\ 0 & 0 & ... & a_2 & a_0 \end{bmatrix}.$$

Система устойчива, если все диагональные миноры матрицы Гурвица положительны.

Анализ устойчивости по критерию Михайлова предполагает построение на комплексной плоскости годографа

$$A(j\omega)=a_n(j\omega)^n+...+a_1(j\omega)+a_0$$

при изменении ω от 0 до ∞. Система будет устойчива, если годограф, начинаясь на положительной вещественной полуоси при $\omega = 0$, проходит последовательно n квадрантов против часовой стрелки, устремляясь в n-м в ∞.

Критерий Найквиста позволяет судить об устойчивости замкнутой системы по частотной характеристике разомкнутой

системы. Если разомкнутая система устойчива, то замкнутая система также будет устойчивой в том случае, когда АФХ разомкнутой системы $W_p(j\omega)$ не охватывает точку $(-1, j0)$ при изменении ω от 0 до ∞.

3. Методические указания

Работа выполняется с помощью пакета прикладных программ COMPAS.

Для экспериментального определения критического значения исследуемого параметра его необходимо изменить в несколько раз по сравнению с исходным и проанализировать полученные переходные процессы. Если при одном параметре система была устойчива, а при другом - неустойчива, то критическое значение находится внутри выделенного интервала, и найти его можно, например, методом половинного деления.

Наличие незатухающих колебаний постоянной амплитуды на выходе свидетельствует о положении системы на границе устойчивости.

4. Порядок выполнения работы

4.1. Набрать модель исследуемой системы, параметры которой приведены в таблице 2.1. Номер варианта соответствует порядковому номеру бригады.

4.2.Подавая на вход единичное скачкообразное воздействие, зарисовать переходные процессы в системе при заданных параметрах. На экран графического монитора выводить входной, выходной сигналы и ошибку (Δ).

Таблица 2.1.

Номер варианта	1	2	2	3	3	
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						

4.3.Экспериментально определить критическое значение коэффициента передачи k_1, т.е. такие значения, при которых система находится на границе устойчивости. Сравнить их с расчетными значениями, найденными с помощью критерия Найквиста.

4.4.Построить переходный процесс при $k_1 = 0.8\ k_{1кр}$, проанализировать результаты.

4.5. Увеличить коэффициент d в два раза по сравнению с исходным значением и определить $k_{1кр}$. Затем уменьшить d в два раза и найти $k_{1кр}$. Построить зависимость $k_{1кр} = k_{1кр}(d)$.

4.6.Найти экспериментальное критическое значение $d_{кр}$. Сравнить с $d_{кр}$, рассчитанным с помощью критерия Гурвица.

4.7.Воспользовавшись критерием Михайлова, найти $T_{2кр}$. Определить критические значения $T_{2кр}$ экспериментально и проанализировать результаты.

5. Содержание отчета

5.1. Цель работы.

5.2.Структурная схема исследуемой системы и численные значения параметров.

5.3.Рассчитанные и экспериментально найденные критические значения параметров.

5.4.График переходного процесса исследуемой системы при табличных значениях параметров.

5.5. График переходных процессов при $k_1 = k_{1кр}$ и $k_1 = 0.8\ k_{1кр}$.

5.6. График зависимости $k_{1кр}(d)$.

6. Контрольные вопросы

6.1. Как формулируется основное условие устойчивости линейных систем?

6.2. Как по АФХ исследуемой разомкнутой системы найти $k_{1кр}$?

6.3. Каким образом коэффициент передачи разомкнутой системы влияет на вид годографа Михайлова?

6.4.Как, используя критерий Гурвица для замкнутой системы, найти критическое значение коэффициента разомкнутой системы?

6.5.Какой вид имеет переходная характеристика системы, находящейся на колебательной границе устойчивости?

6.6.Каковы условия положения системы на границе устойчивости по критериям Гурвица, Михайлова, Найквиста?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3
АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ И ТОЧНОСТИ РАБОТЫ САУ

1.Цель работы

Исследовать влияние структуры и параметров системы на качество переходных процессов и статическую ошибку.

2. Основные сведения

Необходимо проанализировать свойства системы, структурная схема которой имеет вид.

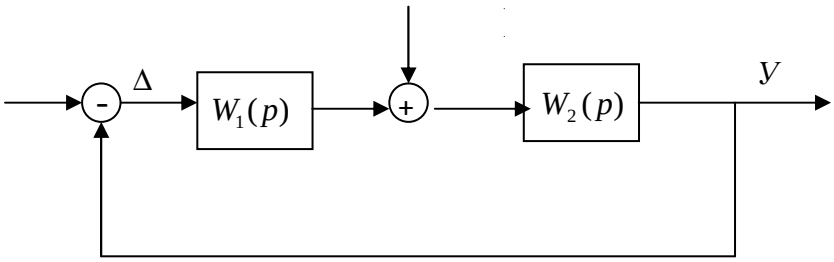
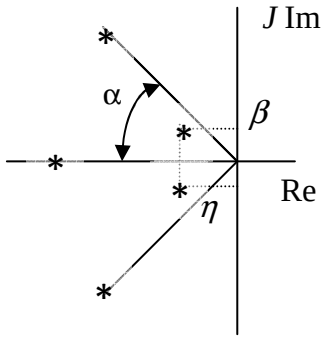


Рис.3.1. Структурная схема исследуемой системы

Качество переходных процессов в ней можно оценить следующим образом:

1) Корневой способ.

По расположению корней на комплексной плоскости приближенно определяют длительность переходного процесса



$$t_n = \frac{3}{\eta}$$

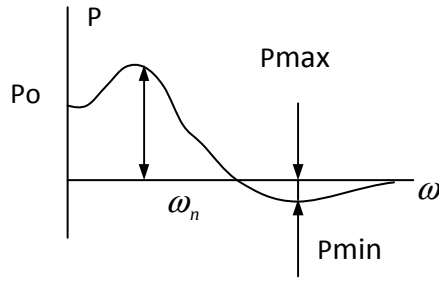
и колебательность системы

$$\mu = \frac{\beta}{\alpha}$$

которая, в свою очередь, однозначно связана с перерегулированием

$$\sigma\% = 100\exp(-\pi/\mu).$$

2)Частотный способ.



Качество переходных процессов в системе можно оценить по виду вещественной частотной хорактеристики P(w), при этом длительность переходного процесса

$$t_n = (3-5)\frac{\pi}{w_n}$$

а перерегулирование

$$\sigma\% \le \left(\frac{1.18P_{\min} + 0.27P_{\min} - P_0}{P_0}\right) * 100\%$$

Выражение для ошибки в исследуемой системе имеет вид

$$\Delta(P) = \frac{1}{1+W_1(P)W_2(P)}V(p) - \frac{W_2(P)}{1+W_1(P)W_2(P)}M(P).$$

При V=const, M=const можно найти статическую ошибку

В статической системе ошибка Δ^0 не равна нулю, и её абсолютная величина определяется значениями *V* и *M*, а также коэффициентом усиления разомкнутой системы: чем он больше, тем меньше ошибка. Однако необходимо помнить, что с увеличением коэффициента усиления уменьшается запас устойчивости системы, т.е. требования точности и устойчивости оказываются противоречивыми.

В астатической системе составляющая ошибки Δ^0 от действия *v=const* всегда будет равна нулю, а от *M=const* обращается в ноль только в том случае, когда точка приложения возмущения «расположена» после интегратора. Для астатических систем существует понятие скоростной ошибки Δ_C^0, которая оценивается при линейно возрастающем входном сигнале *V=at* (где *a=const*)

$$\Delta_C^0 = \lim_{P\to 0}\frac{1}{1+W_1(p)W_2(p)} * \frac{a}{p} \quad .$$

3. Методические указания

Поскольку для линейных систем справедлив принцип суперпозиции, то при исследовании статической ошибки, вызванной действием входного сигнала *V=1*, возмущение *M* должно быть равно

нулю. Для исследования составляющей ошибки от возмущения подают *M=1*, а *V=0*. Полная статическая ошибка Δ^0 в системе может быть получена как сумма двух составляющих или при одновременной подаче *V=1* и *M=1*.

Для определения скоростной ошибки на вход системы необходимо подавать *V=at* при *M=0*. Линейно изменяющийся сигнал *V(t)* формируется с помощью интегрирующего звена, на вход которого поступает единичное воздействие. При коэффициенте усиления интегратора, равном а, и нулевых начальных условиях на его выходе получим функцию *V=at*.

4. Порядок выполнения работы

4.1. Подготовить модель системы, структурная схема которой приведена на рис. 3.1, где

$$W_1(p) = \frac{K_1}{T_1^2 p^2 + 2dT_1 p + 1}; \qquad W_2(p) = \frac{K_2}{p} \quad .$$

Параметры передаточных функций приведены в табл.3.1.

Таблица 3.1

Парамет р	1	2	3	4	5	6	7	8
K_1	3	2	2	3	2	10	1	2
T_1	0,1	0.2	0.5	0.4	0.05	0.08	0.1	0.5
d	0.8	1.0	1.3	1.1	2.0	1.5	1.2	1.5
K_2	4	3	2	1	20	2	4	3
T_2	0,7	0.1	0.8	0.2	0.9	0.5	0.7	0.5
a	2	3	5	1	4	2.5	2	4

Оценить качество переходного процесса и ошибку от входного воздействия. Зарисовать графики изменения сигналов *v(t)*, *y(t)* и $\Delta(t)$.

4.2. Оценить качество переходного процесса и ошибку от возмущения, зарисовать графики изменения сигналов *M(t)*, *y(t)* и $\Delta(t)$.

4.3. Определить скоростную ошибку системы по входу Δ_C^0 и оценить качество переходного процесса.

4.4. Изменить модель системы следующим образом:

$$W_1(p) = \frac{K_2}{p}; \qquad W_2(p) = \frac{K_1}{T_1^2 p^2 + 2dT_1 p + 1};$$

и повторить пп. 4.1 и 4.2.

4.5. Заменить интегрирующее звено апериодическим с передаточной функцией

$$W_1(p) = \frac{K_2}{T_2 p + 1}$$

и повторить пп. 4.1, 4.2. Сравнить полученные результаты с пп.4.1, 4.2 и 4.4.

4.6. Определить полную статическую ошибку от действия входного сигнала *v* и возмущения *M*. Сравнить переходный процесс с аналогичным по п.4.5.

4.7. Проанализировать изменение Δ^0, t_n и σ в зависимости от величины параметра K_2. Построить графики этих зависимостей по четырем точкам.

5.Содержание отчета

5.1. Цель работы.

5.2. Структурные схемы исследованных систем.

5.3. Графики всех переходных процессов.

5.4. Экспериментально найденные t_n и $\sigma\%$ для п.4.1 и их значения, рассчитанные частотным и корневым способами.

5.5. Выводы к работе.

6.Контрольные вопросы

6.1. Как влияет местоположение интегратора в системе на статическую ошибку?

6.2. Записать выражение для АЧХ и ВЧХ замкнутой системы.

6.3. Как по ВЧХ системы оценить t_n и $\sigma\%$?

6.4. Какая взаимосвязь существует между ВЧХ и переходной характеристикой системы?

6.5. Как оценить качество переходного процесса по корням характеристического уравнения?

6.6. Записать выражение для статической ошибки от действия входного сигнала и возмущения в статической системе.

6.7. Как влияет изменение коэффициента усиления разомкнутой системы на статическую ошибку и качество переходного процесса?

6.8. Какая система называется астатической?

6.9. Какими свойствами обладает система позиционирования?

Лабораторная работа № 4
СИНТЕЗ ЛИНЕЙНЫХ САУ ЧАСТОТНЫМ МЕТОДОМ

1.Цель работы

Расчет частотным методом корректирующего устройства для линейной системы (рис.4.1) .

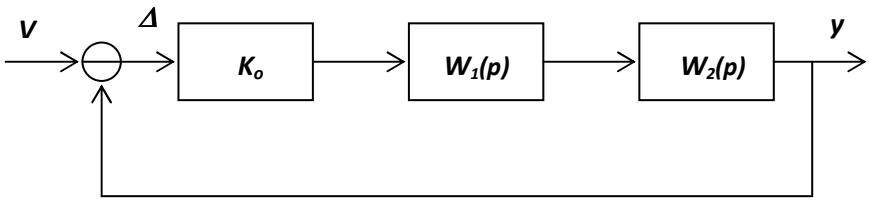
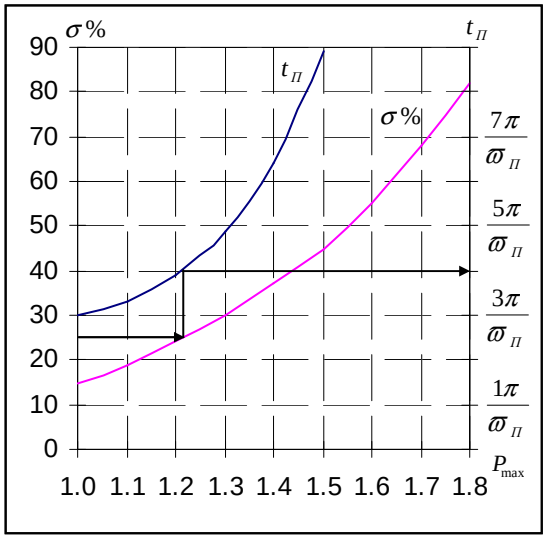


Рис.4.1. Структурная схема исходной системы

2.Основные сведения

Первым этапом частотного метода синтеза является построение логарифмической амплитудно-частотной характеристики (ЛАЧХ) разомкнутой системы. Затем по требованиям к качеству переходного процесса (t_n и $\sigma\%$) строят среднечастотный участок желаемой ЛАЧХ, который имеет наклон *-20 дб/дек* и пересекает ось абсцисс в точке ($lg\omega_c > 0$), - где ω_c- частота среза, $\omega_c=(0.6 - 0.9)\cdot\omega_n$, ω_n - частота положительности. Исходя из заданного перерегулирования $\sigma\%$, по номограммам (рис.4.2) определяют запас устойчивости по модулю ΔL, ограничивающий среднечастотный участок ЛАЧХ, и $\omega_n=N\pi/t_n$, где N- коэффициент пропорциональности, соответствующий найденному значению P_{max}.

Например, при $\sigma=25\%$ получаем $P_{max}=1.22$, $N=4$.



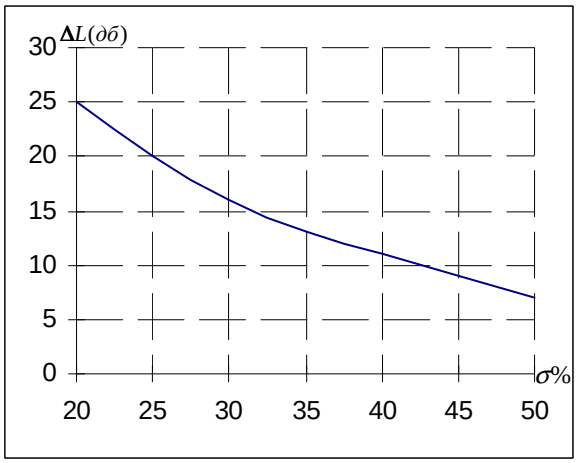


Рис.4.2. Номограммы для определения параметров желаемой ЛАЧХ

В области высоких и низких частот желаемую характеристику сопрягают с ЛАЧХ исходной системы. Вычитая из желаемой ЛАЧХ характеристику разомкнутой системы, получают ЛАЧХ корректирующего звена, по которому определяют его передаточную функцию. Структурная схема системы с учетом корректирующего звена показана на рис.4.3.

3. Методические указания

Для выполнения лабораторной работы необходимо рассчитать параметры корректирующего звена в соответствии с требованиями к качеству процессов в замкнутой системе. Работа выполняется с помощью одного из пакетов прикладных программ для исследования САУ(*COMPAS, SIMNON, MATLAB*) .

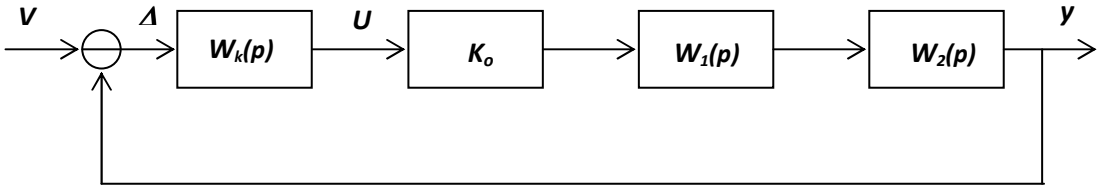


Рис.4.3. Структурная схема скорректированной системы

4.Порядок выполнения работы

4.1. Набрать модель исследуемой системы (рис.4.1.), параметры которой приведены в таблице. Зарисовать графики процессов *y(t), Δ(t).*

4.2. По требованиям к качеству переходных процессов в системе рассчитать параметры корректирующего звена.

Таблица 4.1

Параметр	Номер варианта								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$W_1(p)$	$\frac{K_1}{T_1^2 p^2 + 2dT_1 p + 1}$			$\frac{K_1}{T_1 p + 1}$			$\frac{K_1}{T_1 p + 1}$		
$W_2(p)$	$\frac{K_2}{p}$			$\frac{K_2}{p(T_2 p + 1)}$			$\frac{K_2}{T_2^2 p + 2dT_2 p + 1}$		
K_o	20	25	10	20	25	45	20	40	25
K_1	2.0	2.0	2.0	2.0	1.4	2.0	1.5	2.0	2.0
$T_1(0)$	0.03	0.025	0.04	0.1	0.13	0.05	5.0	0.25	0.017
K_2	2.5	1.0	0.9	1.5	2.0	2.1	3.3	1.25	2.0
$T_2(0)$	-	-	-	0.15	0.025	0.013	0.05	0.017	0.25
D	0.3	0.5	0.4	-	-	-	0.4	0.5	0.7
$t_n(0)$	1.7	0.8	2.0	2.0	1.6	1.2	2.0	0.4	2.0
$\sigma\%$	30	40	20	35	30	40	20	30	25

4.3. Набрать модель корректирующего звена и включить его в систему. Снять переходный процесс в скорректированной системе и убедиться, что показатели качества соответствуют заданным.

4.4. Изменить параметры корректирующего звена, зафиксировать переходный процесс, определить показатели качества процесса, сравнить их с результатами п.4.3.

5.Содержание отчета

5.1. Цель работы.

5.2. Структурные схемы системы без коррекции и с коррекцией.

5.3. ЛАЧХ исходной системы, желаемая ЛАЧХ разомкнутой системы и корректирующего звена.

5.4. Передаточная функция корректирующего звена.

5.5. Переходные процессы по п.4.1, 4.3, 4.4.

6.Контрольные вопросы

6.1. Какая часть ЛАЧХ определяет свойства системы в статическом режиме?

6.2. Какая часть ЛАЧХ определяет свойства системы в динамике?

6.3. Как по передаточной функции системы построить ее асимптотическую ЛАЧХ?

6.4. Как учитываются внешние возмущения при синтезе регулятора?

6.5. Как связаны показатели качества замкнутой системы с видом желаемой ЛАЧХ?

6.6. Как по ЛАЧХ корректирующего звена восстановить его передаточную функцию?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5
ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ НАБЛЮДАТЕЛЕЙ СОСТОЯНИЯ

1. Цель работы

Исследовать методы построения и свойства наблюдателей состояния для динамических объектов.

2. Основные сведения

Рассматриваются линейные стационарные объекты поведение, которых описывается передаточной функцией

$$W(p) = \frac{Y}{U} = \frac{K}{T2p2+2dTp+1} \qquad (5.1)$$

Существует ряд методов синтеза систем управления (методы аналитического конструирования оптимальных регуляторов, модальный метод синтеза), применение которых предполагает использование переменных состояния системы в законе управления. Однако на практике обычно доступна для измерения только выходная переменная системы $y(t)$, поэтому возникает задача получения оценки вектора состояния $x(t)$.

Для оценки переменных состояния используется специальная техническая система - фильтр оценки состояния (наблюдатель состояния). В лабораторной работе рассматриваются такие способы построения наблюдателей состояния, как способ параллельной модели и фильтр Калмана. Способ параллельной модели может быть использован для устойчивых линейных стационарных объектов (5.1). При этом уравнение наблюдателя состояния имеет вид

$$T^2\ddot{y}+2dT\acute{y}+y=KU \qquad (5.2)$$

Соответствующая структурная схема объекта (5.1) с наблюдателем состояния приведена на рис. 5.1.

В случае, когда объект управления (5.1) неустойчив или требуется ускорить процесс оценки переменных состояния, обычно используется фильтр Калмана, который кроме параллельной модели содержит стабилизирующую добавку $L(p)$. Структурная схема системы приведена на рис. 5.2.

Передаточная функция, связывающая между собой переменные Δ и U, имеет вид:

$$W(p) = \frac{\Delta}{U} = -\frac{K}{T^2p^2+2dTp+1+KL(p)} \quad . \qquad (5.3)$$

Характеристическое уравнение наблюдателя следующее

$$T^2p^2+2dTp+1+KL(p)=0. \qquad (5.4)$$

Выбор коэффициентов стабилизирующей добавки *L(p)* осуществляется исходя из требований к качеству переходных процессов в наблюдателе. При этом формируется желаемое характеристическое уравнение, коэффициенты которого приравниваются коэффициентам уравнения (5.4).

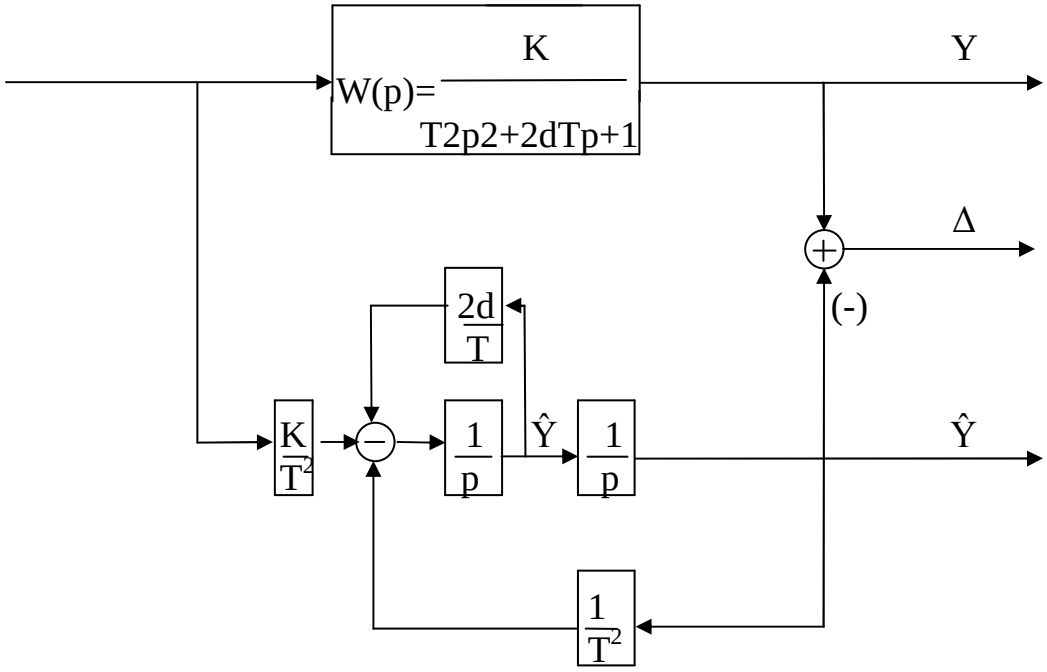


Рис.5.1. Структурная схема объекта с наблюдателем
в виде параллельной модели

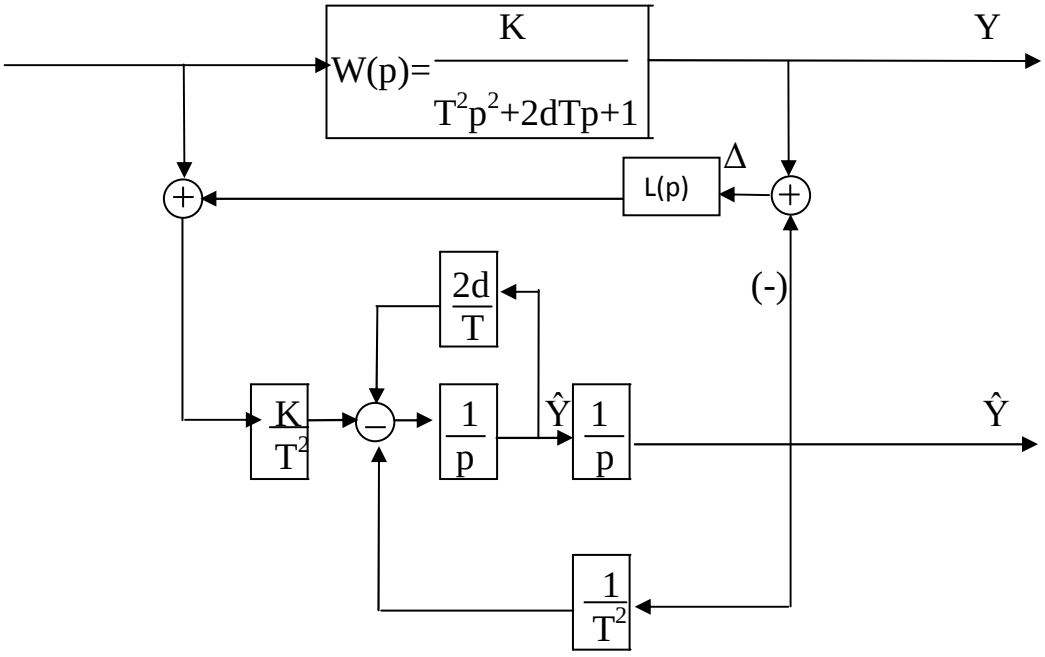


Рис.5.2. Структурная схема объекта с наблюдателем
в виде фильтра Калмана

3. Методические указания

3.1. Выполнить расчет стабилизирующей добавки $L(p)=K_3$, исходя изпроцесса в наблюдателе.

3.2 Рассчитать $L(p)=K\frac{\tau_1 p+1}{\tau_2 p+1}$ по требованию к качеству переходных процессов в наблюдателе, где t_n - желаемое время переходного процесса; $\sigma\%$ - величина допустимого перерегулирования.

3.3. Пункты, отмеченные символом *, выполняются по рекомендации преподавателя.

4. Порядок выполнения работы

4.1. Собрать схему моделирования системы (5.1) с наблюдателем состояния по способу параллельной модели (рис.5.1) в соответствии с номером варианта.

Таблица 5.1

Пара метр	Номер варианта							
	1	2	3	4	5	6	7	8
К	8.0	6.0	5.0	12.0	3.0	4.0	20.0	8.0
Т,(с)	4.0	2.0	4.0	5.0	2.0	1.0	5.0	2.0
D	0.5	0.3	0.5	0.4	0.3	0.2	0.6	0.25
$t_п$,(с)	1.0	0.6	1.5	2.0	0.5	0.3	1.5	0.5
σ%	30	0	30	30	0	0	30	0

4.2. Зарисовать графики переходных процессов для переменных состояния объекта и наблюдателя, а также ошибку $\Delta(t)$, подавая на вход исследуемой системы единичное ступенчатое воздействие при нулевых начальных условиях.

4.3. Провести моделирование аналогично п.4.2, подавая на вход исследуемой системы единичное ступенчатое воздействие при различных начальных условиях для объекта и наблюдателя.

4.4. Изменить величину T в объекте в 2 раза и повторить п.4.3.

4.5. Оценить влияние K на свойства системы, последовательно увеличивая и уменьшая его значение для объекте в 2 раза относительно номинального и повторяя п. 4.3.

4.6. Собрать модель системы с фильтром Калмана (рис.5.2) и стабилизирующей добавкой $L(p)=\kappa_3$ и зарисовать графики переходных процессов для выходных переменных объекта и наблюдателя, а также ошибку $\Delta(t)$, подавая на вход исследуемой системы единичное ступенчатое воздействие при нулевых начальных условиях.

4.7. Провести моделирование аналогично п.4.6, подавая на вход исследуемой системы единичное ступенчатое воздействие при различных

начальных условиях для объекта и наблюдателя.

4.8. Исследовать влияние K, последовательно увеличивая и уменьшая его значение в два раза относительно расчетного и повторить п.4.6 и 4.7.

4.9*. Изменить величину T в объекте в 2 раза и повторить п.4.7.

4.10*. Оценить влияние K на свойства системы, последовательно увеличивая и уменьшая его значение для объекта в 2 раза относительно номинального и повторяя п. 4.7.

4.11. Собрать модель системы с фильтром Калмана и стабилизирующей добавкой $L(p)=K(\tau_1 p+1)/(\tau_2 p+1)$ и зарисовать графики переходных процессов для выходных переменных объекта и наблюдателя, а также ошибку $\Delta(t)$, подавая на вход исследуемой системы единичное ступенчатое воздействие при нулевых начальных условиях.

4.12. Провести моделирование аналогично п.4.11, подавая на вход исследуемой системы единичное ступенчатое воздействие при различных начальных условиях для объекта и наблюдателя.

4.13. Изменить величину T в объекте в 2 раза и повторить п. 4.12, сравнить с результатами пп. 4.4 и 4.9.

4.14. Оценить влияние K на свойства системы, последовательно увеличивая и уменьшая его значение для объекта в 2 раза относительно номинального и повторяя п.4.12. сравнить с результатами, полученными в пп.4.5 и 4.10.

5. Содержание отчета

5.1. Цель работы.

5.2. Структурные схемы исследованных систем.

5.3. Расчет параметров стабилизирующей добавки $L(p)$.

5.4. Графики результатов моделирования.

5.5. Выводы по работе.

6. Контрольные вопросы

6.1. Какова область применения способа параллельной модели?

6.2. Как влияет изменение параметров объекта на ошибку оценки переменных состояния способом параллельной модели?

6.3. Как выбирают параметры стабилизирующей добавки $L(p)$?

6.4. Какова область применения фильтров Калмана?

6.5. Как влияет изменение параметров объекта на ошибку оценки переменных состояния с помощью фильтра Калмана?

6.6. Можно ли изменить скорость оценки переменных состояния с помощью наблюдателя в виде параллельной модели?

6.7. Как осуществляется оценка переменных состояния, если объект и наблюдатель имеют различные начальные условия?