



**Некоммерческое
акционерное
общество**

**АЛМАТИНСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ЭНЕРГЕТИКИ И
СВЯЗИ**

Кафедра электропривода
и автоматизации

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Методические указания по выполнению лабораторных работ для
студентов специальности 5В071800

Алматы 2018

СОСТАВИТЕЛИ: Ю.А. Цыба, Ж.Ж. Тойгожинова, Д.М. Чныбаева.
Системы автоматического управления. Методические указания по
выполнению лабораторных работ для студентов специальности 5В071800. -
Алматы: АУЭС. 2018. – 39 с.

Методические указания содержат необходимые теоретические
положения, принципы работы в среде MATLAB Simulink программу
выполнения работ, методику подготовки и проведения экспериментов,
анализа полученных результатов.

Методические указания предназначены для студентов специальности
5В071800 – Электроэнергетика.

Ил. 19, табл. 6, библи. – 6 назв.

Рецензент: доцент кафедры ЭС и ЭЭС Б.К. Курпенов

Печатается по плану издания Некоммерческого акционерного общества
«Алматинский университет энергетики и связи» на 2018 г.

© НАО «Алматинский университет энергетики и связи», 2018г.

Юрий Александрович Цыба
Жанар Жумакановна Тойгожинова
Чныбаева Дана Максұлтановна

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Методические указания по выполнению лабораторных работ для
студентов специальности 5В071800

Редактор Л.Т. Сластихина
Специалист по стандартизации Н.К. Молдабекова

Подписано в печать _____
Тираж 80 экз.
Объем 2,4 уч. - изд. л.

Формат 60x84 1/16
Бумага типографская № 1
Заказ 1200. Цена тг.

Копировально – множительное бюро
некоммерческого акционерного общества
«Алматинский университет энергетики и связи»
050013 Алматы, ул. Байтурсынова, 126

Содержание

Введение.....	4
1 Лабораторная работа №1. Приобретение навыков работы в системе программируемого комплекса MATLAB Simulink.....	4
2 Лабораторная работа №2. Исследование переходных характеристик типовых звеньев систем автоматического управления.....	8
3 Лабораторная работа №3. Исследование качества переходных процессов систем автоматического управления.....	13
4 Лабораторная работа №4. Исследование устойчивости замкнутой системы автоматического управления.....	16
5 Лабораторная работа №5. Коррекция систем автоматического управления.....	20
6 Лабораторная работа №6. Моделирование системы ПЧ – АД с обратной связью по скорости.....	22
7 Лабораторная работа №7. Моделирование и исследование системы тиристорный преобразователь напряжения – асинхронный двигатель с фазным ротором.....	26
8 Лабораторная работа №8. Исследование автоколебаний в нелинейных системах автоматического управления.....	33
Приложение А	36
Список литературы.....	38

Введение

Настоящие указания составляют учебно - методическую базу для выполнения лабораторных работ по курсу «Системы автоматического управления» (САУ).

Цель работы: развить и закрепить у студентов навыки практического анализа и проектирования систем управления.

В процессе выполнения лабораторных работ студенты должны исследовать такие вопросы, как:

- изучение динамических свойств и построение динамических характеристик различных звеньев автоматических систем во временной и частотной областях;
- исследование качества переходных процессов;
- исследование устойчивости замкнутых систем;
- изучение элементарных нелинейных звеньев и исследование их выходных характеристик.

Выполнение лабораторных работ предполагает использование популярного мощного пакета моделирования MATLAB с расширениями Control System Toolbox и Simulink. Каждая работа содержит описание команд MATLAB, которые могут быть использованы при выполнении заданий.

1 Лабораторная работа №1. Приобретение навыков работы в системе программируемого комплекса MATLAB Simulink

Цель: приобретение основных навыков работы с моделирующими программными пакетам MATLAB.

1.1 Основные сведения

MATLAB - система программирования высокого уровня, работающая как интерпретатор и включающая большой набор команд для выполнения самых разнообразных вычислений, задания структур данных и графического представления информации. В частности, используются команды пакета прикладных программ Control System Toolbox, предназначенного для работы с LTI-моделями (Linear Time Invariant Models) систем управления.

MATLAB Simulink - интерактивный инструмент для моделирования, анализа и синтеза динамических систем на основе библиотеки блоков. Simulink является достаточно самостоятельным инструментом MATLAB, но доступ к функциям MATLAB и другим его инструментам остается открытым. Имеются также дополнительные библиотеки блоков для разных областей применения (моделирование электротехнических устройств, набор блоков для разработки цифровых устройств и т.д.).

1.2 Основные принципы работы и моделирования

Лабораторные работы данного практикума выполняются на основе или команд CST или операционных блоков MATLAB Simulink.

Для работы с CST необходимо запустить программу MATLAB и далее работать в командном окне среды MATLAB (рисунок 1.1), используя набор команд, приведенных в лабораторных работах.

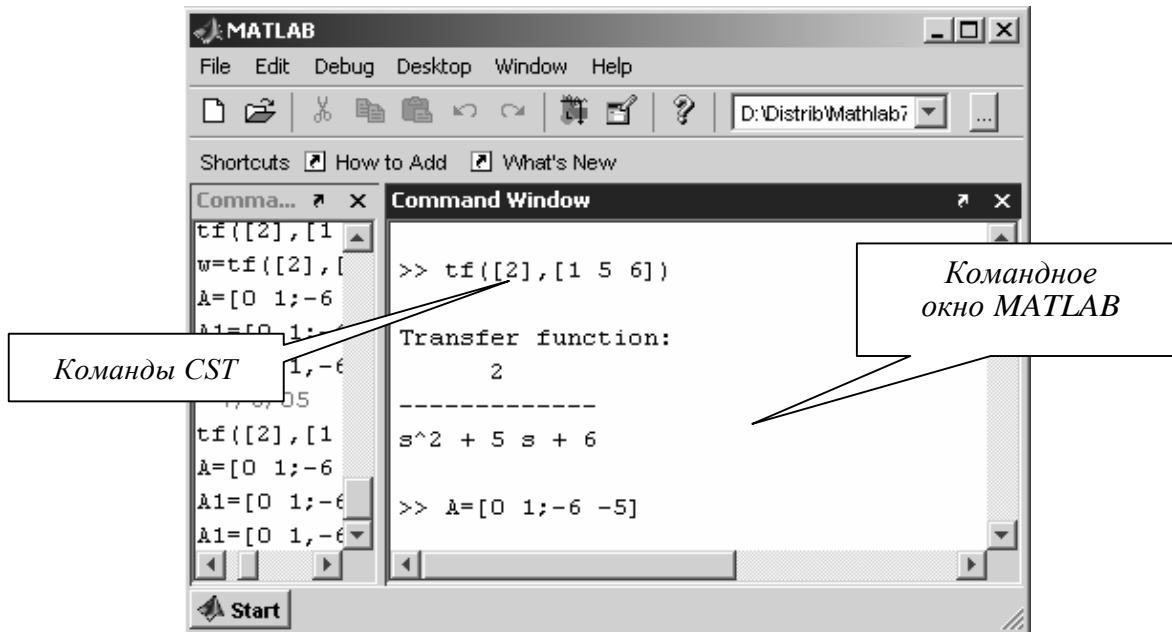


Рисунок 1.1 – Командное окно MATLAB

Для работы с MATLAB Simulink, после запуска программы MATLAB, необходимо открыть в меню File→New→Model. В открывшемся окне (рисунок 1.2) собираются модели систем из операционных блоков библиотеки Simulink.

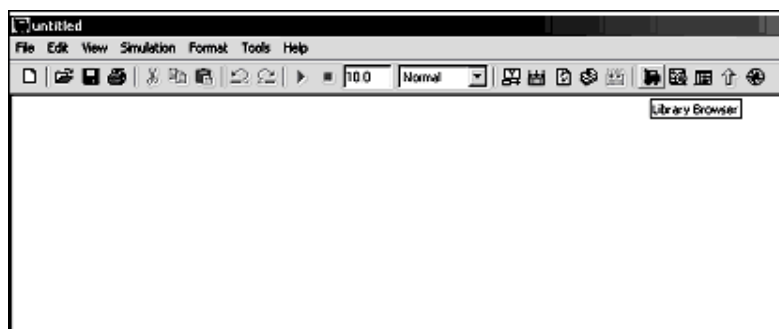


Рисунок 1.2 - Окно MATLAB Simulink

Окно библиотеки блоков запускается нажатием кнопки Library Browser в меню Simulink и состоит из различных прикладных разделов (рисунок 1.3).

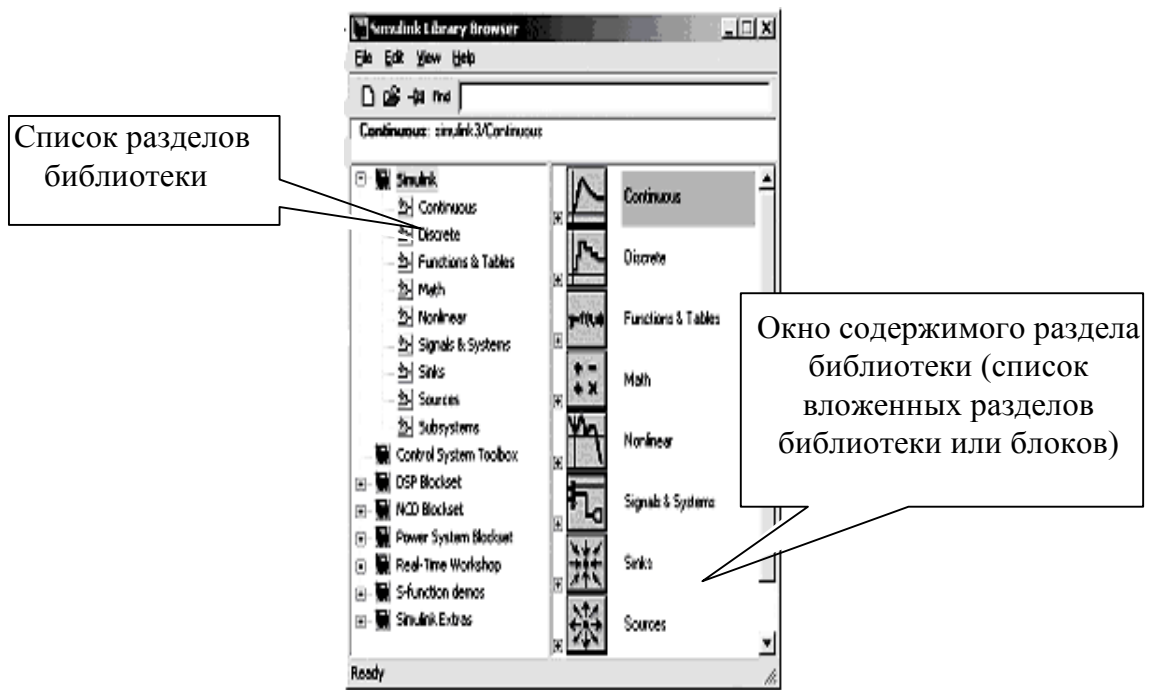


Рисунок 1.3 – Библиотека MATLAB Simulink

1.3 Методический пример

Моделирование уравнения n -го порядка с начальными условиями с использованием инструментария MATLAB.

Пусть задано дифференциальное уравнение:

$$\frac{d^2 y(t)}{dt^2} + 5 \frac{dy(t)}{dt} + 6y(t) = 0, \quad (1.1)$$

при начальных условиях (н.у.) $y(t_0) = 1, y'(t_0) = 1, t \in [t_0, +\infty], t_0 = 0$.

Схема моделирования уравнения (1.1) в MATLAB Simulink представлена на рисунке 1.4. Для построения схемы необходимо было разрешить уравнение (1.1) относительно старшей производной:

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = -5 \frac{dy}{dt} - 6y, \quad (1.2)$$

и воспользоваться в MATLAB Simulink стандартными блоками: сумматор (*Sum*), интегратор (*Integrator*), коэффициент усиления (*gain*), блок вывода характеристик - осциллограф (*Scope*).

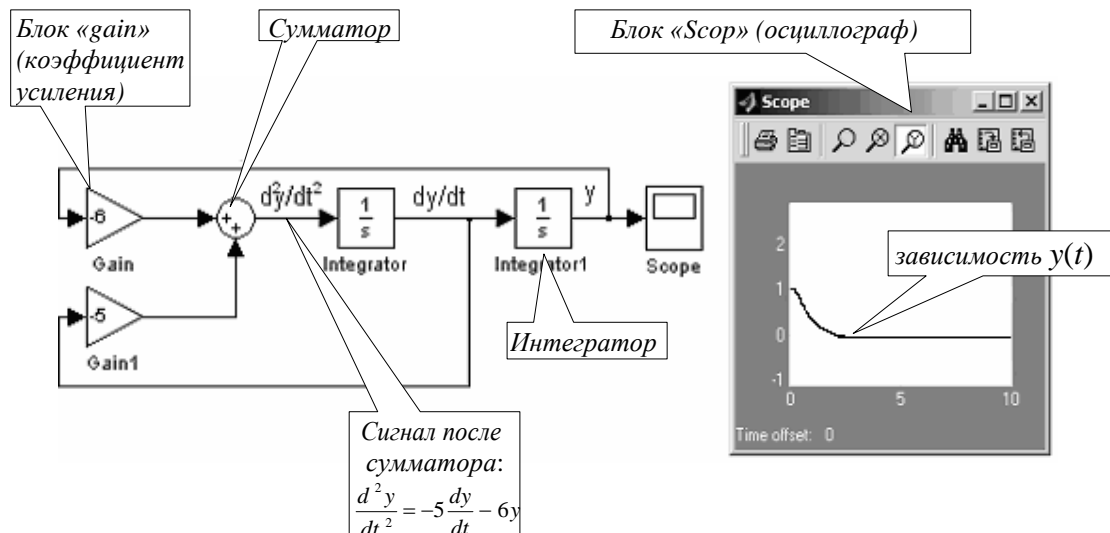


Рисунок 1.4 - Схема моделирования уравнения (1.2) в MATLAB Simulink

1.4 Порядок выполнения лабораторной работы № 1

1.4.1 Запустить программу MATLAB. Ознакомиться с содержанием меню.

1.4.2 Собрать схему рисунка 1.4, произвольно изменив параметры моделируемых элементов и начальных условий. Записать уравнение модели.

1.4.3 Промоделировать дифференциальное уравнение первого и третьего порядков:

$$a_1 \frac{dy(t)}{dt} + a_2 y(t) = 0, \text{ при н.у. } y(t) = \lambda;$$

$$\frac{d^3 y(t)}{dt^3} + a_1 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + a_2 \frac{dy(t)}{dt} + a_3 y(t) = 0; \text{ при н.у. } y(t_0) = \lambda, \dot{y}(t_0) = \mu, \ddot{y}(t_0) = \nu.$$

Параметры и начальные условия выбираются самостоятельно или задаются преподавателем.

1.4.4 В командном окне.

1.5 Контрольные вопросы

1.5.1 Назначение программы MATLAB.

1.5.2 Принципы функционирования программных пакетов MATLAB.

1.5.3 Возможности моделирования, предоставляемые пакетом прикладных программ Control System Toolbox (CST) и MATLAB Simulink.

1.5.4 Основные этапы работы с программой.

1.5.5 Объект управления, управляющее устройство, САУ.

1.5.6 Математическая модель объекта управления.

1.5.7 Уравнения статики и уравнения динамики.

1.5.8 Входные воздействия и выходные координаты объекта управления. Возмущающее воздействие, управляющее воздействие.

2 Лабораторная работа №2. Исследование переходных характеристик типовых звеньев систем автоматического управления

Цель: изучение пакета моделирования MATLAB-Simulink. Освоение основных приемов моделирования линейных систем автоматического управления.

2.1 Краткое теоретическое введение

Модель как средство осмысления помогает выявить взаимозависимости переменных, характер их изменения во времени, найти существующие закономерности. При составлении модели становится более понятной структура исследуемого объекта, вскрываются важные причинно-следственные связи. В процессе моделирования постепенно происходит разделение свойств исходного объекта на существенные и второстепенные с точки зрения сформулированных требований к системе. Также модель как средство прогнозирования позволяет предсказывать поведение объекта и управлять им, испытывая различные варианты управления.

Модели можно условно разделить на три группы: физические, аналоговые и математические. Физическими принято называть такие модели (макеты), в которых реальный объект заменен его увеличенной или уменьшенной копией. Аналоговое моделирование основано на замене исходного объекта объектом другой физической природы, обладающим аналогичным поведением. Математическая модель является математическим описанием реального физического объекта.

Свойства объекта, представленного математической моделью, могут изучаться с использованием аналитических и вычислительных методов. Аналитические методы исследования математических моделей имеют существенные ограничения. Они позволяют в полной мере исследовать системы, которые описываются дифференциальными уравнениями первого и второго порядка. Системы, описываемые уравнениями третьего и четвертого порядка, поддаются аналитическому решению, но влияние параметров системы приходится исследовать уже численными методами. Системы более высоких порядков исследуются только численными методами [1,2].

Численные методы базируются на использовании компьютерного моделирования. Компьютерная модель - это программная реализация математической модели, дополненная различными служебными программами (например, рисующими и изменяющими графические образы во времени). Для исследования динамических систем широко используются

пакеты MATLAB - Simulink фирмы Math Work. При моделировании с использованием Simulink реализуется принцип визуального программирования, в соответствии с которым пользователь на экране из библиотек стандартных блоков создает модель устройства и осуществляет расчеты. При этом, в отличие от классических способов моделирования, пользователю не нужно досконально изучать язык программирования и численные методы математики, а достаточно общих знаний, требующихся при работе на компьютере и, естественно, знаний той предметной области, в которой он работает.

Наиболее распространенными способами математического описания систем автоматического управления является [1, 2]:

- дифференциальные уравнения, записываемые в той или иной форме;
- уравнения состояний – система дифференциальных уравнений, записанных в нормальной форме Коши;
- передаточные функции;
- системные функции (амплитудно-частотные, фазо-частотные, амплитудно - фазовые характеристики);
- нули и полюсы передаточной функции.

Дифференциальное уравнение, описывающее линейную динамическую систему (или ее часть), в общем случае имеет вид:

$$a_n \frac{d^n x}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} x}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dx}{dt} + a_0 x = b_m \frac{d^m u}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} u}{dt^{m-1}} + \dots + b_1 \frac{du}{dt} + b_0 u, \quad (2.1)$$

где u -входной сигнал;
 x -переменная состояния.

Это же уравнение в операторной форме можно записать в виде:

$$a_n s^n x + a_{n-1} s^{n-1} x + \dots + a_1 s x + a_0 x = b_n s^m u + b_{m-1} s^{m-1} u + \dots + b_1 s u + b_0 u, \quad (2.2)$$

где $s^k = \frac{d^k}{dt^k}$ - оператор дифференцирования.

Из последнего уравнения находится отношение выходного сигнала к входному:

$$w(s) = \frac{x}{u} = \frac{b_n s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0}. \quad (2.3)$$

Выражение 2.3, совпадающее по форме с передаточной функцией, назовем операторной передаточной функцией. Заметим, что модели пакетов MATLAB - Simulink оперируют именно с операторным представлением дифференциальных уравнений.

Уравнения состояний (система дифференциальных уравнений, записанных в нормальной форме Коши) имеют вид:

$$\begin{aligned} \frac{dX}{dt} &= AX + BU; \\ Y &= CX + DU, \end{aligned} \quad (2.4)$$

где X - вектор состояния;

U, Y - векторы входа и выхода системы;

A - матрица коэффициентов;

B - матрица управления;

C - матрица выхода;

D - матрица, характеризующая связь входного сигнала с выходным.

В частном случае, в простых системах, выход является скалярной величиной. В этом случае матрица C - это вектор строки, а матрица X - вектор столбец и их произведение дает скалярную величину.

Передаточная функция (отношение преобразованного по Лапласу выходного сигнала к преобразованному по Лапласу входному сигналу), составленная по уравнению 2.1, записывается в виде:

$$W(s) = \frac{X(s)}{U(s)} = \frac{b_n s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0}, \quad (2.5)$$

где $s = a + j\omega$ - комплексная величина.

Если принять $s = j\omega$, то получим системную функцию (амплитудно-фазовую характеристику):

$$H(j\omega) = \frac{X(j\omega)}{U(j\omega)} = \frac{b_n (j\omega)^m + b_{m-1} (j\omega)^{m-1} + \dots + b_1 (j\omega) + b_0}{a_n (j\omega)^n + a_{n-1} (j\omega)^{n-1} + \dots + a_1 (j\omega) + a_0}. \quad (2.6)$$

Системная функция может быть записана в алгебраической или показательной форме как:

$$H(j\omega) = R[H(j\omega)] + \text{Im}[H(j\omega)] = A(\omega)e^{j\varphi(\omega)}, \quad (2.7)$$

где

$$A(\omega) = \sqrt{R_e[H(j\omega)]^2 + \text{Im}[H(j\omega)]^2}, \quad (2.8)$$

амплитудно-частотная характеристика,

$$\varphi(\omega) = \text{arctg} \frac{\text{Im}[H(j\omega)]}{R_e[H(j\omega)]}, \quad (2.9)$$

фазо-частотная характеристика.

Числитель и знаменатель передаточной функции (2.5) представляют собой полиномы переменной s . Корни полинома числителя обращают выражение в ноль и потому называются нулями (Zero), а корни полинома знаменателя обращают выражение в бесконечность и называются полюсами (Pole) передаточной функции. Передаточная функция, записанная при использовании нулей (z) и полюсов (p), представляется в виде:

$$W(p) = K \frac{(s - z_m)(s - z_{m-1}) \dots (s - z_1)}{(s - p_n)(s - p_{n-1}) \dots (s - p_1)}, \quad (2.10)$$

где K - коэффициент усиления.

2.2 Программа работы

2.2.1 По варианту, предложенному преподавателем, выбрать из таблицы 2.1. задание и на рабочей области пакета MATLAB-Simulink и с помощью библиотек стандартных блоков и представленных уравнений построить схему моделирования линейной системы автоматического управления.

2.2.2 Моделирование произвести для нулевых начальных условий и при подаче на вход системы ступенчатого сигнала – возмущение по нагрузке – (блок Step библиотеки Sources) $u = 1(t)$ и синусоидального сигнала (блок Sine Wave библиотеки Sources) $u = 2\cos(t)$.

2.2.3 Выход модели подключить к рабочему окну (блок To Workspace библиотеки Sinks) и графическому дисплею (блок Scope библиотеки Sinks). На графический дисплей выводить графики сигналов $y(t)$ и $u(t)$. Временные интервалы фиксирования выбрать самостоятельно.

2.2.4 Осуществить моделирование свободного движения системы с нулевыми и ненулевыми начальными условиями (таблицу 2.2). Снять выходные характеристики $y(t)$ системы. Получить фазовый портрет.

2.2.5 Скопируйте полученные графики в отчет в формате Word. Для этого в меню File выберите пункт Print to Figure. В появившемся новом окне графика переходного процесса выберите в меню Edit пункт Copy Figure, а затем в документе Word вставьте график клавишами Ctrl + V.

Таблица 2.1 – Варианты параметров моделей

Вариант	Порядок модели, n	a_0	a_1	a_2	b_0	b_1	b_2
1	3	9	6	3	12	2	0,1
2	3	5	4	3	2,5	2	3
3	3	5	4	2	7,5	0	5
4	3	8	6	2	12	1	10
5	3	7	5	1	1	3	1,5
6	3	1	5	0	1	0,5	1
7	2	7	3	0	1	6	0
8	2	2	0,5	0	4	2	0
9	2	1	0,5	0	2	2	0
10	2	2	1	0	3	2	0
11	2	3	0,8	0	7,5	3	0
12	2	8	6	0	1	2	0
13	2	7	5	0	1	2	0
14	2	1	5	0	1	0	0
15	2	0,1	1	0	0,1	1	0

Таблица 2.2 – Варианты начальных условий моделей

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Порядок модели n	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2
$y(0)$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$y^{(1)}(0)$	0,5	-0,2	-0,4	0,1	-0,5	0,5	0,4	1	-0,5	0	0,5	0,1	-0,5
$y^{(z)}(0)$	0	0,1	0,2	-0,1	0	0,1	-	-	-	-	-	-	-

2.3 Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие разделы:

- 1) Титульный лист.
- 2) Цель и порядок выполнения работы.
- 3) Краткое изложение теоретической части.
- 4) Математические модели типовых динамических звеньев.
- 5) Графики переходных характеристик указанных типовых звеньев.
- 6) Выводы.

2.4 Контрольные вопросы

2.4.1 Суть и виды моделирования.

2.4.2 Назовите виды математических моделей.

2.4.3 Какие существуют способы математического описания систем автоматического управления?

2.4.4 Для решения каких задач используется пакет MATLAB-Simulink?

2.4.5 Для чего используются блоки интегрирования?

2.4.6 Поясните принцип составления модели «вход – выход».

2.4.7 Переходная характеристика, весовая характеристика.

2.4.8 Что понимается под типовым динамическим звеном?

3 Лабораторная работа №3. Исследование качества переходных процессов систем автоматического управления

Цель: закрепление теоретических знаний и овладение практическими навыками по исследованию качества переходных процессов.

3.1 Краткое теоретическое введение

К системам автоматического регулирования (САР) предъявляются требования не только устойчивости процессов регулирования. Для работоспособности системы не менее необходимо, чтобы процесс автоматического регулирования осуществлялся при обеспечении определенных показателей качества процесса управления. Если исследуемая САР является устойчивой, возникает вопрос о том, насколько качественно происходит регулирование в этой системе и удовлетворяет ли оно технологическим требованиям объекта управления. На практике качество регулирования определяется визуально по графику переходной характеристики [1, 2].

Классификация показателей качества состоит из нескольких групп:

- прямые, определяемые непосредственно по переходной характеристике процесса;
- корневые, определяемые по корням характеристического полинома;
- частотные - по частотным характеристикам;
- интегральные, получаемые путем интегрирования функций.

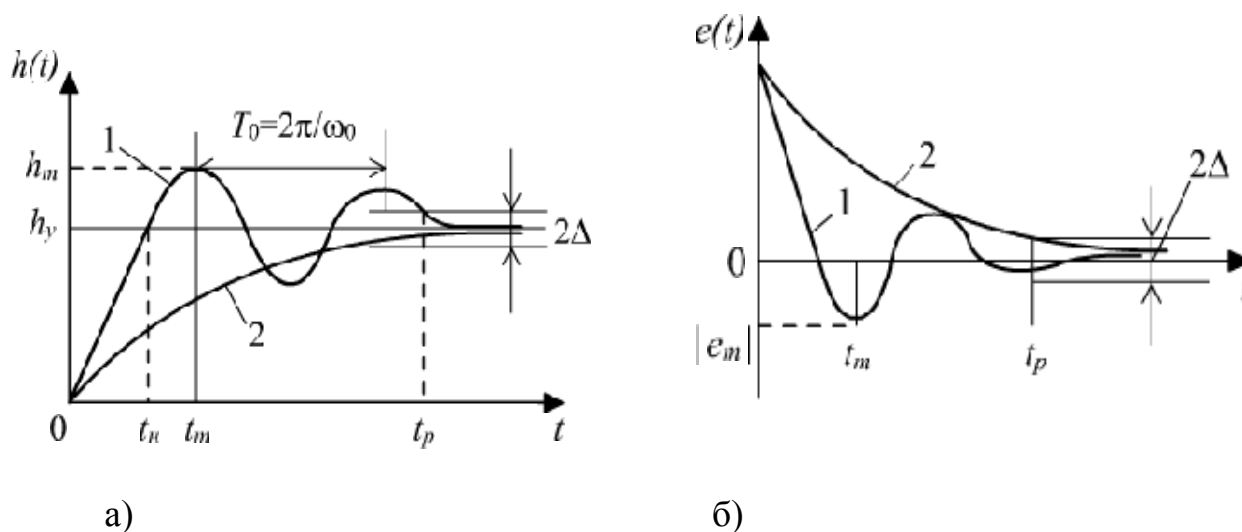
Изменение режима работы автоматической системы возникает в результате прикладываемых к ней внешних воздействий. При этом возможны различные режимы работы системы в зависимости от заданного закона изменения выходной переменной и внешних возмущающих воздействий. Внешнее возмущение в виде переменной нагрузки наиболее существенно для систем стабилизации управляемой переменной на заданном уровне. Основная задача при этом состоит в том, чтобы создать систему, которая не реагировала бы на это воздействие.

Внешнее воздействие на входе системы наиболее характерно для программных и следящих систем. При этом надо так выбрать параметры и структуру системы, чтобы это воздействие воспроизводилось с минимальной ошибкой (ковариантная задача). В общем случае все эти воздействия на систему являются сложной функцией времени.

При исследовании качества процесса управления обычно принято рассматривать несколько типичных воздействий в виде следующих функций: единичной скачкообразной, импульсной, гармонической и соответствующей изменению сигнала с постоянной скоростью. Наиболее распространенным является воздействие в виде скачкообразной функции.

Переходный процесс в системе зависит не только от свойств САУ, но и от характера внешнего воздействия, которое, в общем случае, может быть сложной функцией времени. Поведение системы рассматривают при следующих типовых воздействиях: единичной ступенчатой функции $I(t)$,

импульсной $\delta(t)$ и гармонической функций. Прямые оценки качества получают по кривой переходной характеристики $h(t)$, т. е. при воздействии единичной ступенчатой функции и нулевых начальных условиях [2].



а) для выходной координаты $h(t)$; б) для ошибки $e(t)$.

Рисунок 3.1 - Переходные характеристики

В зависимости от характера затухания при скачкообразном воздействии переходный процесс может быть монотонным, аperiodическим или колебательным (рисунок 3.1). Процесс является монотонным, если отклонение управляемой переменной от нового установившегося значения при $t \rightarrow \infty$ только уменьшается (кривая 2). Процесс считается аperiodическим, если имеет место не более одного перерегулирования относительно начального и конечного значений управляемой переменной.

Прямыми показателями качества (только они рассматриваются в этой лабораторной работе) процесса управления, определяемые непосредственно по переходной характеристике, являются:

1) Время регулирования t_p – минимальное время, по истечении которого переходная характеристика будет оставаться близкой к установившемуся значению с требуемой точностью, т.е. выполняются неравенства $|e(t)| \leq \Delta$ или $|h(t) - h_y| \leq \Delta$, где Δ - постоянная, заранее оговариваемая величина, которая задается в процентах от h_y (для статических систем $h_y = K/(1+K)$, а для астатических $h_y = 1$). Обычно принимают $\Delta = 5\%$.

2) Перерегулирование H_m – максимальное отклонение переходной характеристики от установившегося значения, выраженное в относительных

единицах или процентах
$$H_m = \frac{(h_m - h_y)}{h_y} 100\% \text{ или } H_m = \frac{|e_m|}{h_y} 100\% .$$

3) Время достижения первого максимума t_m .

4) Время нарастания переходного процесса t_n – абсцисса первой точки пересечения кривой $h(t)$ с уровнем установившегося значения $h(y)$ или кривой $e(y)$ с осью абсцисс.

5) Частота колебаний $\omega = \frac{2\pi}{T_0}$, где T_0 – период колебаний для колебательных процессов.

6) Число колебаний N , которые имеет $h(t)$ за время t_p .

7) Декремент затухания – количественная оценка интенсивности затухания колебательности переходного процесса: $\xi = \frac{h_{m1} - h_y}{h_{m2} - h_y}$.

Для монотонных процессов основным показателем является время регулирования.

3.2 Программа работы

3.2.1 Для системы автоматического управления описанной передаточной функцией: $W = \frac{k}{p(T_1p + 1)(T_2p + 1)}$ и по варианту, указанному в таблице 3.1, используя пакет MATLAB-Simulink, необходимо построить переходной процесс.

3.2.2 По полученному графику определить все прямые показатели качества.

3.2.3 Сделайте выводы по результатам.

Таблица 3.1 – Параметры системы автоматического управления

№	$T1$	$T2$	k	№	$T1$	$T2$	k
1	0.51	0.11	0.2	11	0.45	1.0	4
2	0.35	1.0	8.56	12	0.56	0.93	5
3	0.13	0.013	13	13	0.89	0.57	89
4	0.46	0.19	3.79	14	0.65	0.3	4.2
5	0.7	0.67	6.67	15	0.2	0.01	8
6	0.98	0.23	9	16	0.54	0.91	3.4
7	0.96	0.99	8.67	17	1.0	0.63	6.7
8	0.5	1.0	3.4	18	0.3	0.44	3
9	0.39	0.83	6.12	19	1.0	0.86	3.8
10	0.99	0.92	90	20	0.34	0.28	5.54

3.3 Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие разделы:

1) Титульный лист.

- 2) Цель и порядок выполнения работы.
- 3) Краткое изложение теоретической части.
- 4) Структурная схема исследуемой САУ.
- 5) Графики переходных процессов.
- 6) Расчет и описание вышеуказанных показателей качества.
- 7) Выводы.

3.4 Контрольные вопросы

3.4.1 Какие типичные воздействия рассматривают при исследовании качества САУ?

3.4.2 Назовите группы показателей качества САУ.

3.4.3 Почему исследуемые в этой работе показатели качества называются прямыми?

3.4.4 Дайте определение следующим понятиям:

- время регулирования;
- перерегулирование;
- частота колебаний;
- число колебаний;
- достижение первого максимума;
- время нарастания переходного процесса;
- декремент затухания.

3.4.5 Какое допустимое значение может принимать перерегулирование?

3.4.6 Какое количество колебаний приемлемо в системах управления?

3.4.7 Прямые и косвенные оценки качества переходного процесса.

3.4.8 Как оценивается запас устойчивости системы?

3.4.9 Каким образом можно оценить качество системы по ЛАЧХ и ЛФЧХ?

4 Лабораторная работа №4. Исследование устойчивости замкнутой системы автоматического управления

Цель: изучение методов исследования устойчивости замкнутой САУ.

4.1 Краткое теоретическое введение

При оценке свойств спроектированной САУ прежде всего выясняют ее устойчивость. Понятие устойчивости САУ, как и всякой динамической системы, связано с ее поведением после прекращения внешнего воздействия, т.е. с ее свободным движением под влиянием начальных условий. При этом система устойчива, если после прекращения внешнего воздействия она по истечении некоторого времени возвращается к тому состоянию равновесия или вынужденного движения, в котором находилась до начала воздействия.

Иначе, устойчивость линейной системы - это свойство затухания ее переходных процессов [2].

Оценка устойчивости есть оценка принципиальной способности осуществлять регулирование (управление), поэтому с оценкой устойчивости и начинают исследование всякой САУ.

Отметим, что устойчивость линейных САУ вообще не зависит от внешних воздействий в отличие от нелинейных САУ и определяется параметрами самой системы. Если линейная система устойчива, то это значит, что она устойчива относительно любого установившегося режима и переходная составляющая любого процесса всегда будет сходящейся.

Для устойчивости (асимптотической устойчивости) линейной стационарной системы необходимо и достаточно, чтобы все корни ее характеристического уравнения имели отрицательную вещественную часть. При наличии хотя бы одного корня с положительной вещественной частью система неустойчива. Говорят, что система находится на границе устойчивости, если имеется нулевой корень или пара чисто мнимых корней. При наличии пары чисто мнимых корней в системе имеет место незатухающие гармонические колебания с постоянной амплитудой.

На практике устойчивость САУ определяют с помощью критериев устойчивости - правила, позволяющего выяснить устойчивость системы без вычисления корней характеристического уравнения. Критерий устойчивости разделяют на алгебраические и частотные. К алгебраическим относятся критерии Гурвица и Рауса, а к частотным - критерии Михайлова и Найквиста [2, 3].

Критерий Гурвица удобен для исследования устойчивости систем (без звеньев запаздывания) 3-го и 4-го порядка, когда известны параметры системы. Кроме того, он позволяет получить аналитические выражения зависимости влияния какого-либо параметра на устойчивость, и, в частности, найти критический коэффициент усиления.

Критерий Рауса используют при определении устойчивости систем высокого порядка.

Критерий Михайлова дает возможность судить об устойчивости системы по годографу, описываемому концом характеристического вектора замкнутой системы.

Отметим, что в принципе уравнение границ областей устойчивости можно находить, пользуясь любым критерием устойчивости.

Наиболее широко используют критерий Найквиста. Причиной этого заключается в следующем.

4.1.1 Устойчивость системы в замкнутом состоянии исследуют по частотной передаточной функции ее разомкнутой цепи, а эта функция, чаще всего, состоит из простых сомножителей. Коэффициентами являются реальные параметры системы, что позволяет выбирать их из условий устойчивости.

4.1.2 Для исследования устойчивости можно использовать экспериментально полученные частотные характеристики наиболее сложных элементов системы (объект регулирования, исполнительный орган), что повышает точность полученных результатов.

4.1.3 Исследовать устойчивость можно по логарифмическим частотным характеристикам, построение которых несложно.

4.1.4 Удобно определять запас устойчивости, производить синтез корректирующих устройств.

4.1.5 Критерий Найквиста и его форма по логарифмическим частотным характеристикам позволяют наглядно уяснить понятие о структурно неустойчивой системе и о влиянии «чистого» запаздывания на устойчивость САР.

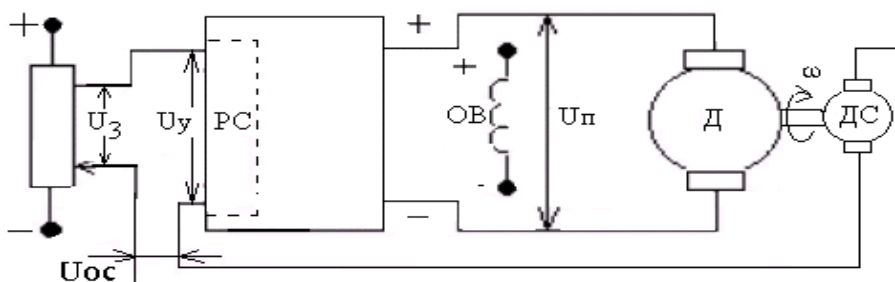


Рисунок 4.1 - Система стабилизации скорости двигателя

Структурно неустойчивая система неустойчива при любых значениях параметров, и ее можно сделать устойчивой, только изменив структурную схему. Например, система, приведенная к одноконтурной и содержащая одно инерционное и два интегрирующих звена структурно, неустойчива.

Рассмотрим вопросы устойчивости САР на примере системы стабилизации скорости двигателя (рисунок 4.1).

В качестве датчика скорости ДС может быть использован тахогенератор или тахометрический мост. В общем случае входным каскадом преобразователя П служит промежуточный усилитель - регулятор скорости РС.

Соответствующая структурная схема системы регулирования скорости представлена на рисунке 4.2.

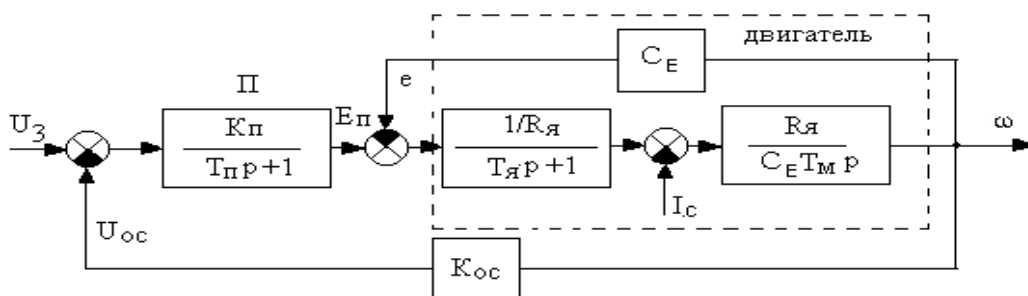


Рисунок 4.2 - Структурная схема системы регулирования скорости

Передаточная функция двигателя по управляющему воздействию:

$$W_{ДВ}(p) = \frac{\omega(p)}{E_{П}(p)} = \frac{1/C_E}{T_{Я} \cdot T_M \cdot p^2 + T_M \cdot p + 1} = \frac{K_D}{T^2 \cdot p^2 + 2 \cdot \xi \cdot T \cdot p + 1}, \quad (4.1)$$

$$\text{где } T = \sqrt{T_{Я} \cdot T_M}, \quad \xi = \frac{T_M}{2 \cdot \sqrt{T_{Я} \cdot T_M}}, \quad K_D = 1/C_E, \quad C_E = \frac{U_H - I_H \cdot R_{Я}}{\omega_H}. \quad (4.2)$$

С учетом этого структурная схема может быть приведена к виду на рисунке 4.3.

Здесь $K_{П}$ - общий коэффициент усиления РС и П.

Устойчивость линейной САУ зависит от параметров и их соотношения, поэтому, исследуя переходные процессы в данной схеме, проследим за изменением показателей качества САУ по кривой переходного процесса в зависимости от $K_{П}$ и $K_{ОС}$.

Принимаем: $K_D=1$; $T=1$ с; $\xi=0,5$; $T_{П}=0,1$ с.

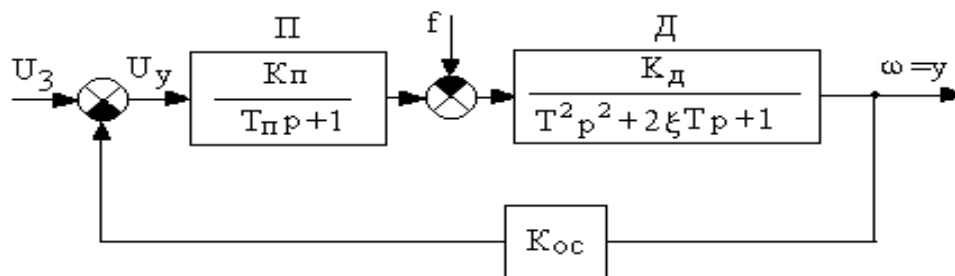


Рисунок 4.3 - Преобразованная структурная схема САУ

4.2 Программа работы

4.2.1 При $K_{ОС} = 1$; $I_c = 0$ снять переходные процессы $h(t) = \omega(t)$ относительно задающего (управляющего) воздействия для $K_{П} = 2$; 5; 8; соответственно. Положить $U_3 = 10$ В (данные преобразователя, двигателя, датчика скорости взять из таблицы 1.2 в лабораторной работе №1).

4.2.2 Снять переходные процессы относительно возмущающего (нагрузки) воздействия при $U_3 = 0$; $I_c = 10$ для $K_{П} = 2$; 5; 8.

4.2.3 Пункты 4.2.1, 4.2.2 повторить, положив $K_{П} = 1$ и варьируя $K_{ОС}$ (например $K_{ОС} = 2; 5$).

4.2.4 Произвести оценку качества САУ по виду кривой переходного процесса.

4.3 Порядок выполнения работы

4.3.1 Используя программное обеспечение Matlab Simulink, набрать модель САУ скорости двигателя (рисунок 3.3).

4.3.2 На вход схемы модели подать управляющий сигнал U_3 . На выход схемы для контроля скорости подключить виртуальный осциллограф и произвести его настройку под ожидаемые параметры сигнала.

4.3.3 Установить необходимые параметры элементов модели и задающего сигнала согласно программе работы. Произвести пуск модели.

4.3.4 Сохранить полученные осциллограммы и произвести их анализ.

4.4 Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие разделы:

- 1) Титульный лист.
- 2) Цель и порядок выполнения работы.
- 3) Краткое изложение теоретической части.
- 4) Структурная схема исследуемой САУ.
- 5) Функциональная и структурная схемы САУ. Схема модели.
- 6) Результаты экспериментов в виде осциллограмм.
- 7) Выводы.

4.5 Контрольные вопросы

4.5.1 Дайте определения:

- а) критерия Гурвица;
- б) критерия Михайлова;
- в) критерия Найквиста;
- г) критерия Найквиста через ЛЧХ.

4.5.2 Расскажите порядок построения АФХ, асимптотической ЛАЧХ и ЛФЧХ.

4.5.3 Как по асимптотической ЛАЧХ для минимально фазовой системы написать выражение передаточной функции?

4.5.4 Как по асимптотической ЛАЧХ определяют параметры системы: коэффициент усиления и постоянные времени?

4.5.5 Сравнительный анализ критериев устойчивости.

4.5.6 Понятие о структурно неустойчивой системе.

4.5.7 Условие устойчивости по начальным данным, по входному воздействию

4.5.8 Условия устойчивости (теоремы Ляпунова).

5 Лабораторная работа №5. Коррекция систем автоматического управления

Цель: экспериментальная проверка на модели (на ЭВМ) теоретических результатов и эффективности коррекции.

5.1 Краткое теоретическое введение

На рисунке 5.1 представлена структурная схема следящей системы, в которой отсутствует корректирующее звено [4]. Передаточная функция нескорректированной следящей системы в разомкнутом состоянии:

$$W_p(p) = \frac{K_p}{p(1+T_1p)(1+T_2p)}, \quad (5.1)$$

где $T_1=1\text{с}$; $T_2=0,1\text{с}$; $K_p=10$.

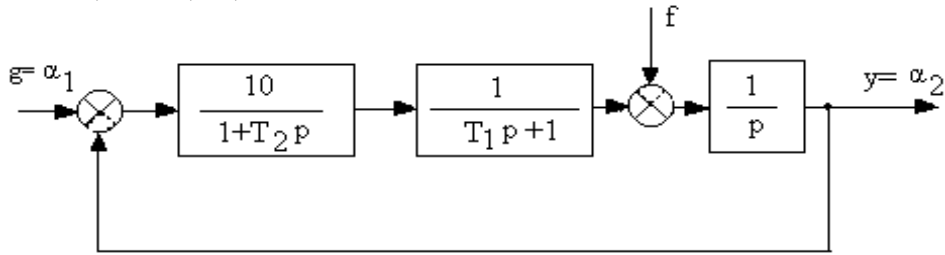


Рисунок 5.1 - Структурная схема нескорректированной следящей системы

Для данной САУ (приложение А) с помощью метода логарифмических амплитудно-частотных характеристик произведен синтез корректирующего звена. Передаточная функция полученного звена введена в структуру следящей системы и представлена элементами Matlab Simulink (рисунок 5.2).

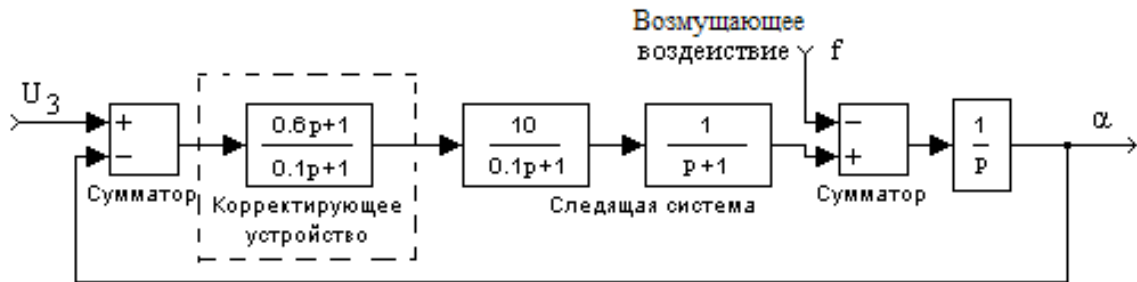


Рисунок 5.2 – Схема модели скорректированной следящей системы

5.2 Программа работы

5.2.1 Для структурной схемы следящей системы (рисунок 5.1) набрать схему модели из элементов и блоков Matlab Simulink. Получить переходный процесс при $U_3=10\text{ В}$, результаты сохранить.

5.2.2 Набрать схему модели скорректированной системы. Снять переходный процесс при $U_3 = 10\text{ В}$, результаты сохранить.

5.2.3 Сопоставить качественные показатели. Сделать выводы.

5.3 Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие разделы:

- 1) Титульный лист.
- 2) Цель и порядок выполнения работы.
- 3) Краткое изложение теоретической части.
- 4) Структурные схемы САР. Схемы моделей.
- 5) Результаты экспериментов в виде осциллограмм.
- 6) Выводы.

5.4 Контрольные вопросы

- 5.4.1 Назначение коррекции.
- 5.4.2 Методы синтеза КУ.
- 5.4.3 Расскажите порядок синтеза с помощью ЛАЧХ.
- 5.4.4 Порядок построения желаемой ЛАЧХ.
- 5.4.5 Определение передаточной функции КУ по ЛАЧХ.
- 5.4.6 Виды КУ. Порядок расчета параметров.
- 5.4.7 Определение статической и астатической системы.
- 5.4.8 Связь установившейся ошибки с передаточной функцией системы и входным сигналом.
- 5.4.9 Оценка качества переходного процесса.

6 Лабораторная работа № 6. Моделирование системы ПЧ – АД с обратной связью по скорости

Цель:

- 1) Изучение структурной схемы моделирования асинхронного электропривода с регулируемым напряжением на статоре.
- 2) Изучение структурной схемы моделирования частотно – регулируемого асинхронного электропривода.
- 3) Исследование переходных процессов динамики системы «тиристорный преобразователь напряжения – асинхронный двигатель».
- 4) Исследование переходных процессов динамики системы «преобразователь частоты – асинхронный двигатель».

6.1 Теоретические положения

Характерной тенденцией электропривода переменного тока является всё более широкое применение асинхронных двигателей (АД) в различных областях промышленности. Эти двигатели технически более просты и надежны в эксплуатации, могут работать при повышенных скоростях и температурах, имеют меньшие массу, габариты и стоимость. Расширяются

возможности и систем регулирования асинхронных электроприводов за счет создания управляемых преобразователей напряжения и частоты. Изменение напряжения на статоре АД вызывает изменение его электромагнитного момента и, в итоге, угловой скорости двигателя. Частота напряжения на двигателе при этом остается неизменной и равна стандартной частоте сети 50 Гц. Для регулирования напряжения на статоре АД в настоящее время наибольшее распространение получили тиристорный регуляторы напряжения (ТПН), которые обладают большим быстродействием и высоким КПД. Однако в разомкнутой системе «ТПН – АД» эффективность такого регулирования скорости ограничена весьма малым диапазоном устойчивых режимов работы двигателя. В связи с этим наиболее целесообразным является его частотное управление и использование, в зависимости от технических требований, различных видов обратных связей, например, по скорости, напряжению и току статора АД. Увеличение диапазона регулирования по скорости АД можно получить за счет введения отрицательной обратной связи по скорости. Структурная схема линеаризованной системы ПЧ – АД с обратной связью по скорости представлена на рисунке 6.1.

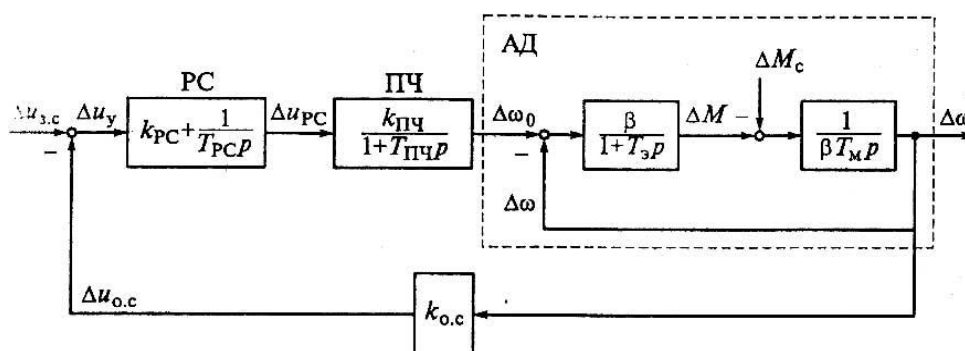


Рисунок 6.1 - Структурная схема системы «ПЧ – АД» с обратной связью по скорости

На схеме (рисунок 6.1) приняты следующие обозначения:

β - модуль жесткости линеаризованной механической характеристики АД ($\beta = 2M_k / (\omega_{ном} S_k)$);

$T_э$ - эквивалентная электромагнитная постоянная времени цепей статора и ротора АД, определяемая по формуле:

$$T_э = 1 / (\omega_{ном} S_k),$$

где $\omega_{ном}$ - угловая скорость электромагнитного поля АД при его номинальной частоте питания $f_{ном} = 50$ Гц ($\omega_{эл.ном} = 2\pi f_{ном}$);

T_m - электромеханическая постоянная времени;

$K_{пч}$ - передаточный коэффициент;

$T_{пч}$ - постоянная времени цепи управления ПЧ (преобразователь частоты);

РС – регулятор скорости, параметрами которого являются постоянная времени T_{pc} и коэффициент передачи K_{pc} .

Передаточная функция ПИ- регулятора скорости запишется:

$$W_{PC}(p) = \Delta u_{PC} / \Delta u_Y = k_{PC} + 1/(T_{PC} p). \quad (6.1)$$

Передаточная функция цепи обратной связи по скорости двигателя:

$$W_{o.c}(p) = \Delta u_{o.c} / \Delta \omega = k_{o.c}. \quad (6.2)$$

При номинальном сигнале управления электроприводом, равном $u_{3.C.ном}$, и соответствующей ему номинальной скорости АД:

$$k_{o.c} = u_{3.C.ном} / \omega_{ном}. \quad (6.3)$$

В соответствии со структурной схемой АД его результирующая передаточная функция по отношению к отклонению $\Delta \omega_0$:

$$W_D(p) = \Delta \omega / \Delta \omega_0 = 1/(T_\Delta T_M p^2 + T_M p + 1). \quad (6.4)$$

При $T_M \geq 4T_\Delta$, $W_D(p) = 1/(T_{01} p + 1)(T_{02} p + 1)$,

$$\text{где } \frac{1}{T_{01}} = \frac{1}{2T_\Delta} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{4T_\Delta}{T_M}} \right); \quad \frac{1}{T_{02}} = \frac{1}{2T_\Delta} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4T_\Delta}{T_M}} \right).$$

6.2 Моделирование системы ПЧ – АД

Модель системы «ПЧ – АД» с обратной связью по скорости в MATLAB представлена на рисунке 6.1.

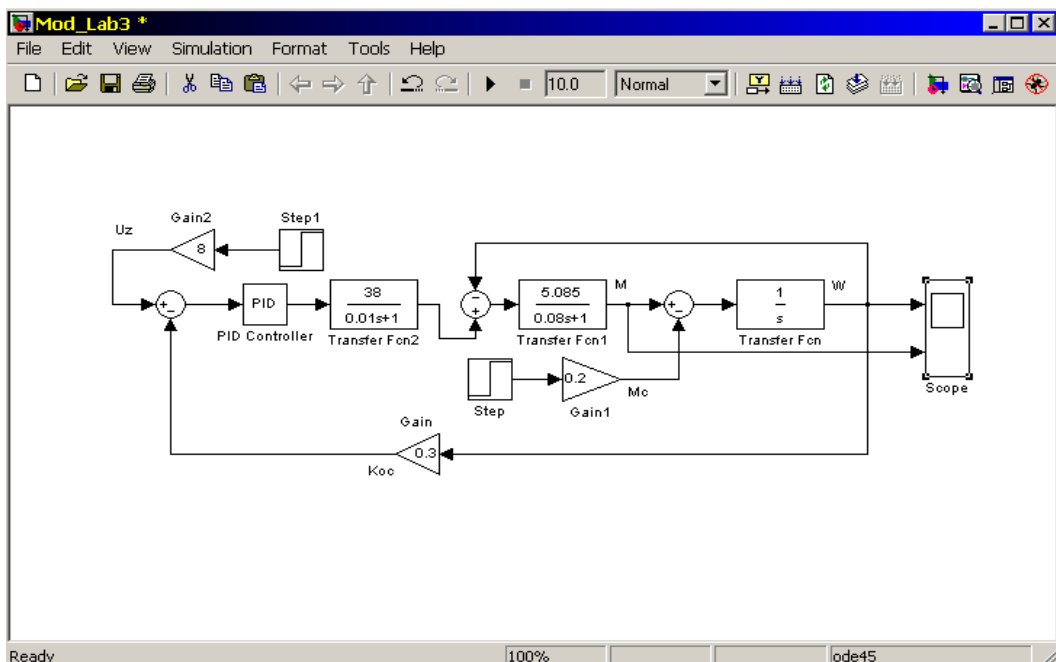


Рисунок 6.1 - Структурная схема модели системы «ПЧ – АД»

Переходные процессы системы «ПЧ – АД» показаны на рисунке 6.2.

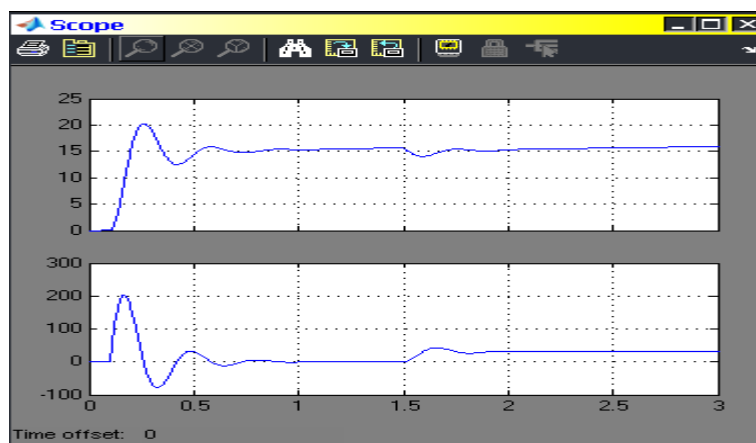


Рисунок 6.2 - Переходные процессы системы «ПЧ – АД»

Варианты параметров системы автоматического управления показаны в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Параметры системы автоматического управления

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S_k	0.17	0.29	0.53	0.037	0.45	0.55	0.6	0.7	0.4	0.3
M_k	0.43	0.6	0.29	0.57	0.26	0.47	0.23	0.40	0.77	1.2
T_m	0.12	0.08	0.02	0.07	0.18	0.25	0.04	0.1	0.15	0.3
$K_{пч}$	10	20	30	12	16	19	32	35	38	15
$T_{пч}$	0.01	0.08	0.05	0.07	0.04	0.02	0.06	0.03	0.09	0.1
$T_{рс}$	0.45	0.56	0.89	0.65	0.2	0.54	1.0	0.3	0.34	0.2
$K_{рс}$	4	5	4.2	3.4	6.7	3	3.8	0.3	0.8	2

6.3 Контрольные вопросы

6.3.1 Что такое тиристорный регулятор напряжения?

6.3.2 Расскажите о системе «ТПН – АД».

6.3.3 Объясните структурную схему линеаризованной системы «ПЧ – АД» с обратной связью.

6.3.4 Свойство устойчивости систем.

6.3.5 Формы представления математических моделей систем автоматического управления.

6.3.6 Преимущества каждой из форм математического описания систем управления.

6.3.7 Передаточная функция.

6.3.8 Расскажите принцип действия САР.

7 Лабораторная работа № 7. Моделирование и исследование системы «тиристорный преобразователь напряжения – асинхронный двигатель» с фазным ротором

Цель:

- 1) Ознакомление с симметричной и несимметричной системой «тиристорный преобразователь напряжения – асинхронный двигатель».
- 2) Исследовать на модели в среде Matlab симметричную систему «тиристорный преобразователь напряжения – асинхронный двигатель».
- 3) Исследовать на модели в среде Matlab несимметричную систему «тиристорный преобразователь напряжения – асинхронный двигатель».

7.1 Краткие теоретические положения

Наиболее распространенная силовая структура «тиристорный преобразователь напряжения – асинхронный двигатель» (ТПН – АД), схема которого приведена на рисунке 7.1, состоит из шести тиристоров, включенных попарно встречно – параллельно в статорной цепи трехфазного асинхронного двигателя. Такой преобразователь предназначен для регулирования 1-й, или основной, гармоники питающего двигателя напряжения изменением угла открытия тиристоров α в диапазоне от $\alpha = \varphi$ до $\alpha = 180^\circ$. В этом случае действующее фазное напряжение первой гармоники изменяется от $U_1 = U_{1ном}$ (где $U_{1ном}$ - действующее фазное номинальное напряжение питающей сети; φ – угол отставания тока от напряжения при синусоидальном питании) до $U_1 = 0$. Частота переменного напряжения основной гармоники остается неизменной и равна частоте сети, т.е. $f_1 = f_{1ном}$. При таком управлении синхронная скорость асинхронного двигателя и критическое скольжение не изменяются, но регулируется момент двигателя $M = f(U_1^2)$. Отметим, что работа асинхронного двигателя на регулировочных характеристиках при $U_1 < U_{1ном}$ происходит в режиме прерывистого тока. В этом случае в спектре несинусоидального периодического тока при соединении обмоток статора звездой без нулевого провода в периодическом несинусоидальном токе, кроме основной гармоники, присутствуют нечетные гармоники: 5-я, 7-я, 11-я, 13-я и т.д. При таком способе управления осуществляется дискретное воздействие на асинхронный двигатель, и в течение периода питающего напряжения 0,02 с при $f_{1ном} = 50$ Гц происходит чередование схем подключения статорных цепей двигателя к трехфазной сети. В связи с этим, даже в установившемся режиме наблюдаются пульсации момента двигателя. Однако пульсирующая составляющая момента практически не оказывает влияния на колебания скорости и динамику электропривода.

7.2 Модель асинхронного двигателя с симметричными тиристорными преобразователями напряжения

Имитационная модель асинхронного двигателя с симметричными тиристорными преобразователями показана на рисунке 7.1. Асинхронный двигатель с фазным ротором (Asynchronous Machine SI Units1) питается от идеальных источников переменного напряжения (AC Voltage Source). В роторную цепь АД включены активные сопротивления. В каждую фазу трехфазного ТПН включаются два тиристора (VS1, VS2; VS3, VS4; VS5, VS6) по встречно – параллельной схеме, которая обеспечивает протекание тока в нагрузку в оба полупериода напряжения сети. Тиристоры получают импульсы управления от системы импульсно – фазового управления (СИФУ), которая обеспечивает их сдвиг на угол управления α в функции внешнего сигнала U_{γ} . Изменяя угол управления α от 0 до 180° , можно регулировать напряжение на статоре от полного напряжения сети до нуля. В нашем случае импульсы управления тиристором формируются блоком Pulse Generator, при этом величина угла управления тиристором определяется длительностью фазовой задержки (Phase Delay) генератора.

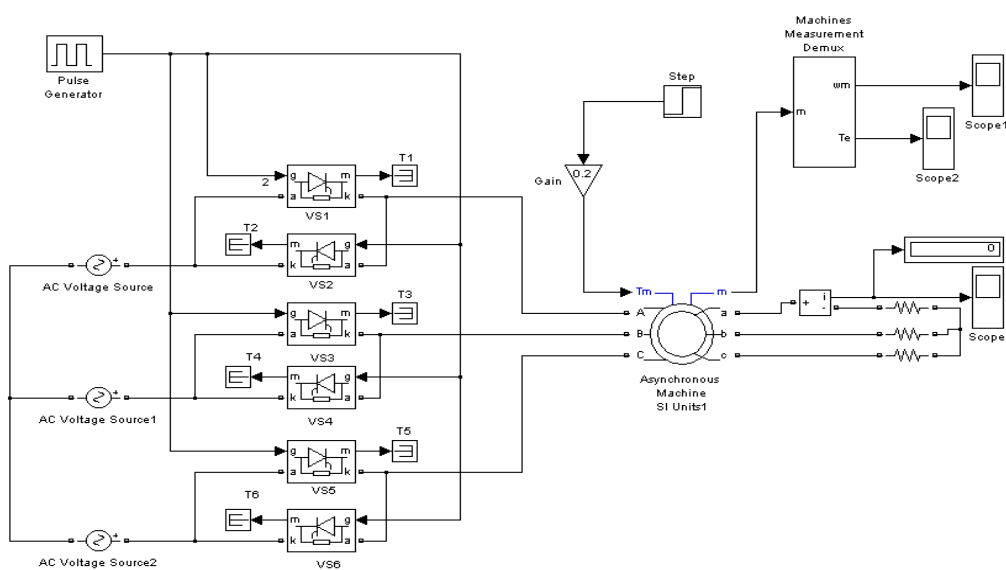


Рисунок 7.1 - Имитационная модель асинхронного двигателя с симметричными ТПН

Для измерения переменных асинхронного двигателя с фазным ротором в имитационной модели используется блок измерения переменных (Machines Measurement Demux). Scope1 – осциллограф для отображения скорости двигателя, а Scope2 – осциллограф для отображения момента двигателя. Кроме этого, для вывода численных значений тока в цепи ротора AC используется цифровой дисплей.

7.3 Модель асинхронного двигателя с несимметричными тиристорными преобразователями напряжения

Однако не меньшее распространение получили асинхронные двигатели с несимметричными преобразователями напряжения, особенно при проектировании и исследовании динамики крановых механизмов. Имитационная модель асинхронного двигателя с несимметричными тиристорными преобразователями напряжения может быть представлена рисунком 7.2.

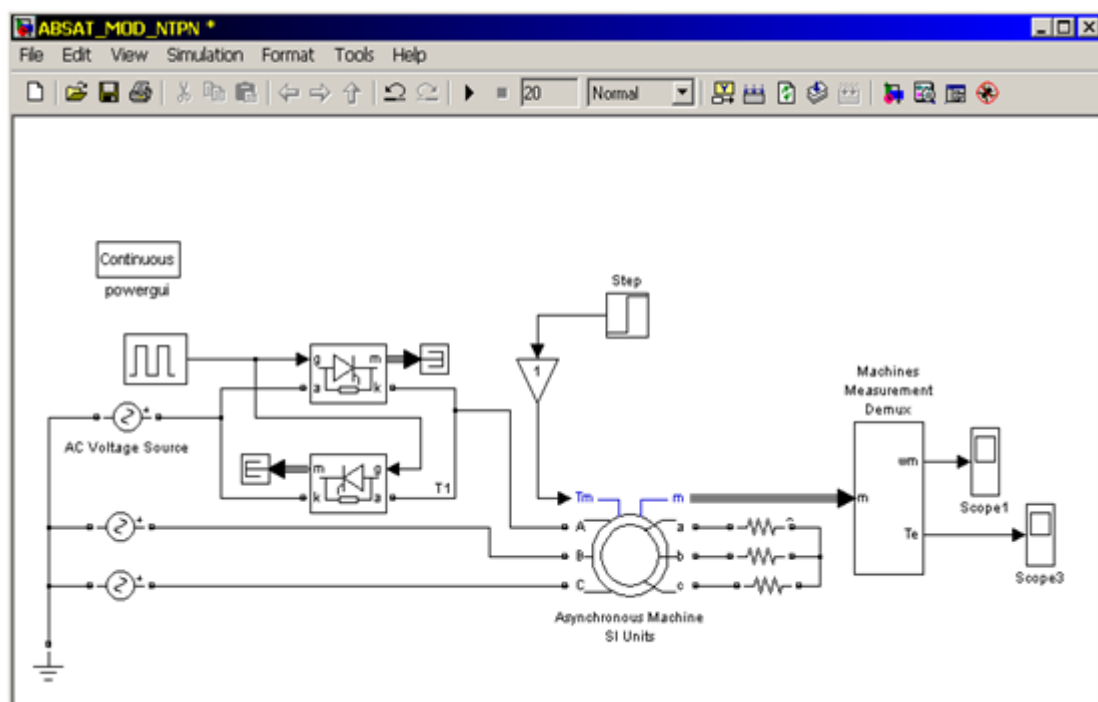


Рисунок 7.2 - Имитационная модель асинхронного двигателя с несимметричными ТПН

7.4 Содержание лабораторной работы

7.4.1 Исследовать асинхронный двигатель с фазным ротором с симметричными тиристорными преобразователями напряжения.

7.4.1.1 Исследовать модель асинхронного двигателя с фазным ротором при питании от источников переменного тока на каждой фазе статора с напряжением $0,36U_H$ и $0,5U_H$ ($U_H=220$ В). Получить переходные процессы скорости и момента АС.

7.4.2 Исследовать асинхронный двигатель по цепи ротора.

7.4.2.1 Снять переходные характеристики асинхронного двигателя при питании на каждой фазе статора с напряжением $0,36U_H$ и сопротивлениях в цепи ротора $R_1 = R_2 = R_3 = 17$ Ом.

7.4.2.2 Снять переходные характеристики асинхронного двигателя при питании на каждой фазе статора с напряжением $0,36U_H$ и сопротивлениях в цепи ротора $R_1 = R_2 = R_3 = 37$ Ом.

7.4.2.3 Снять переходные характеристики асинхронного двигателя при питании на каждой фазе статора с напряжением $0,3U_H$ и сопротивлениях в цепи ротора $R_1 = R_2 = R_3 = 17$ Ом.

4.4.2.4 Снять переходные характеристики асинхронного двигателя при питании на каждой фазе статора с напряжением $0,3U_H$ и сопротивлениях в цепи ротора $R_1 = R_2 = R_3 = 37$ Ом.

7.4.3 Исследовать асинхронный двигатель с фазным ротором с несимметричными тиристорными преобразователями напряжения.

7.4.3.1 Исследовать модель асинхронного двигателя с фазным ротором при питании от источников переменного тока на каждой фазе статора с напряжением $0,36U_H$ и $0,5U_H$ ($U_H = 220$ В). Получить переходные процессы скорости и момента АС.

7.4.4 Исследовать асинхронный двигатель по цепи ротора.

7.4.4.1 Снять переходные характеристики асинхронного двигателя при питании на каждой фазе статора с напряжением $0,36U_H$ и сопротивлениях в цепи ротора $R_1 = R_2 = R_3 = 10$ Ом.

7.4.4.2 Снять переходные характеристики асинхронного двигателя при питании на каждой фазе статора с напряжением $0,36U_H$ и сопротивлениях в цепи ротора $R_1 = R_2 = R_3 = 26$ Ом.

7.4.4.3 Снять переходные характеристики асинхронного двигателя при питании на каждой фазе статора с напряжением $0,5U_H$ и сопротивлениях в цепи ротора $R_1 = R_2 = R_3 = 17$ Ом.

7.4.4.4 Снять переходные характеристики асинхронного двигателя при питании на каждой фазе статора с напряжением $0,5U_H$ и сопротивлениях в цепи ротора $R_1 = R_2 = R_3 = 26$ Ом.

7.5 Методические указания к выполнению лабораторной работы

Для создания имитационной модели асинхронного двигателя с симметричными ТПН в среде Simulink необходимо последовательно выполнить ряд действий:

1) Создать новый файл модели с помощью команды (последовательно) File – New – Model.

Вновь созданное окно модели показано на рисунке 7.3.

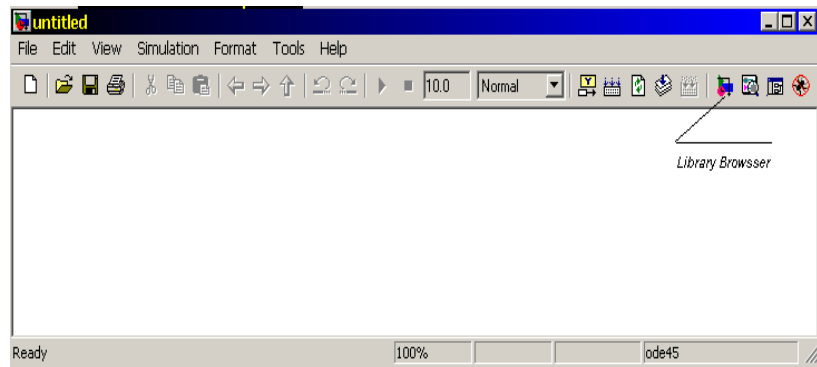


Рисунок 7.3 - Пустое окно модели

2) С помощью кнопки, указанной на панели инструментов (рисунок 7.3), открываем окно библиотеки блоков Simulink Library Browser, которая содержит следующие элементы (рисунок 7.4).

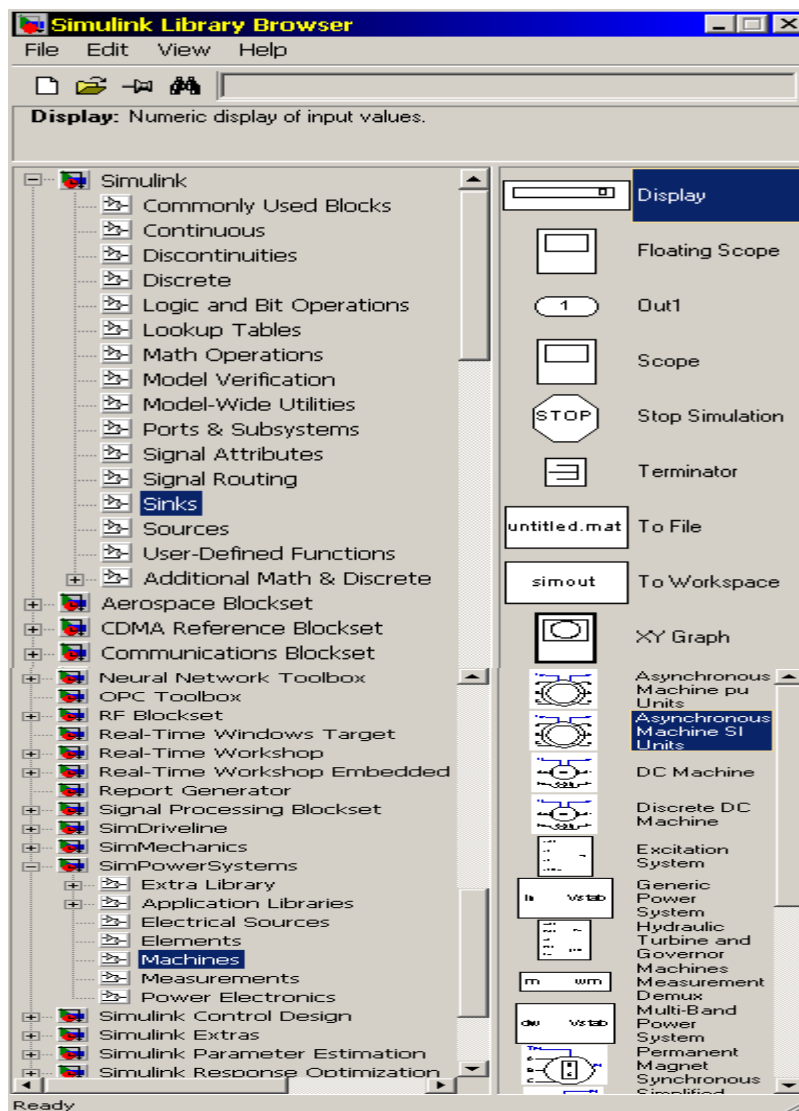


Рисунок 7.4 - Обзорщик библиотеки блоков

Из обозревателя библиотеки блоков (рисунок 7.4) расположить блоки, согласно рисунку 7.1, в окне модели. Для этого необходимо открыть соответствующий раздел библиотеки, нажав на левую клавишу мыши, «перетащив» блок в созданное окно. Клавишу мыши нужно держать нажатой. Для удаления блока необходимо выбрать блок (указать курсором на его изображение и нажать левую клавишу мыши), а затем нажать клавишу Delete на клавиатуре.

3) Для изменения параметров блока необходимо дважды щелкнуть левой клавишей мыши, указав курсором на изображение блока. Откроется окно редактирования параметров данного блока (рисунок 7.5).

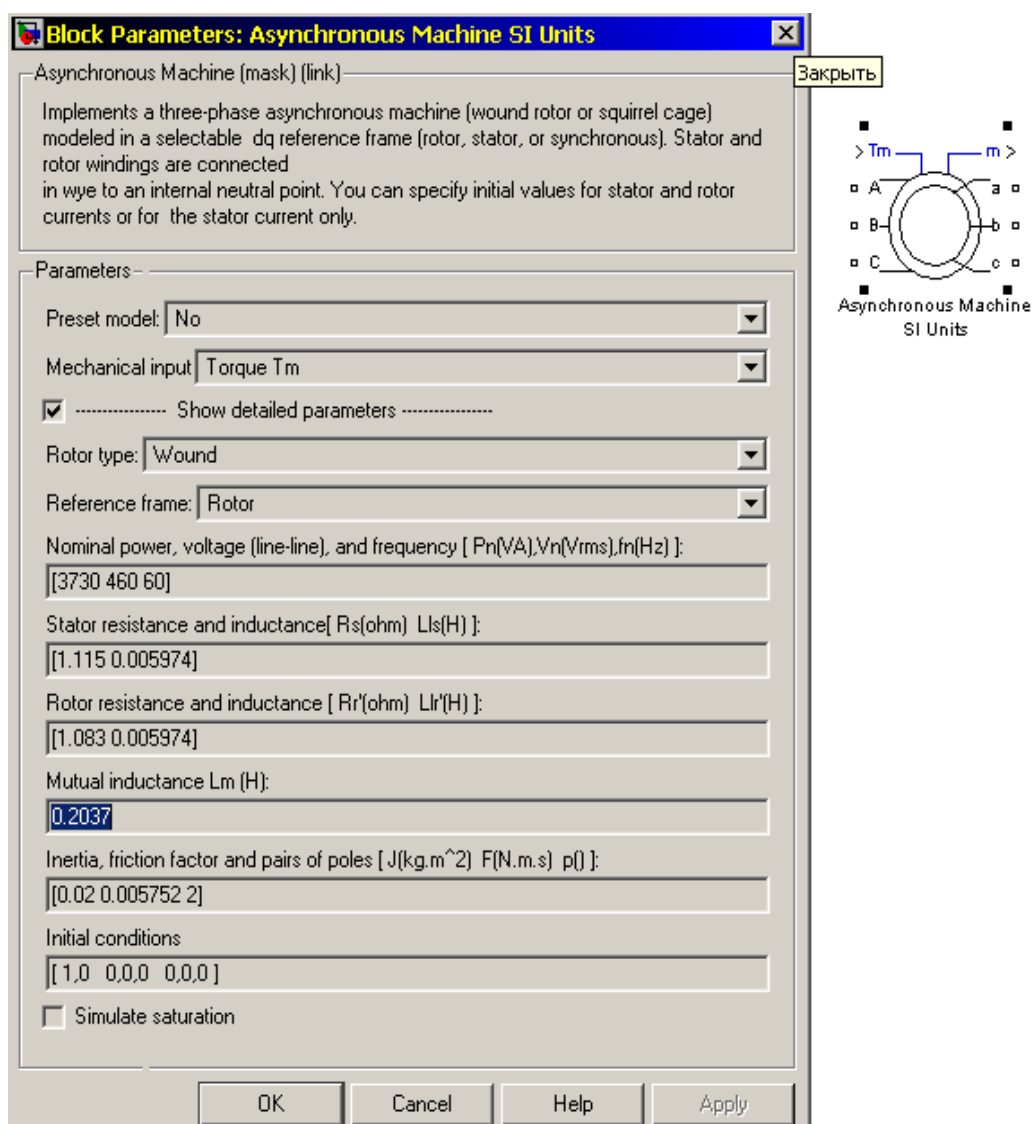


Рисунок 7.5 - Блок параметров асинхронного двигателя

При вводе численных параметров следует иметь в виду, что в качестве десятичного разделителя должна использоваться точка, а не запятая. После внесения изменений нужно закрыть окно кнопкой ОК.

Можно также, не закрывая окна, воспользоваться кнопкой Apply для сохранения изменений.

Варианты параметров асинхронного двигателя показаны в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Асинхронные двигатели

№ вар.	Электро-двигатель	P, кВт	$U_{1л}$, В	R_1	R_2	X_1	X_2	X_μ	$J_{дв,2}$, кг·м ²
1	4АНК160S4У3	14	380	0,047	0,061	0,081	0,1	3,1	0,009
2	4АНК160M4У3	17	380	0,035	0,047	0,067	0,0	2,7	0,012
3	4АНК180S4У3	22	380	0,033	0,054	0,061	0,0	2,4	0,011
4	4АНК180M4У3	30	380	0,028	0,044	0,055	0,0	2,4	0,011
5	4АНК200M4	37	380	0,029	0,035	0,065	0,1	3,2	0,014
6	4АНК200L4У3	45	380	0,029	0,036	0,084	0,1	3,4	0,014
7	4АНК225M4У3	55	380	0,031	0,035	0,084	0,1	4,2	0,015
8	4АНК180S6	13	380	0,048	0,079	0,087	0,1	2,2	0,019
9	4АНК160M6У3	18,5	380	0,044	0,077	0,071	0,1	2,6	0,024
10	4АНК200M6У3	22	380	0,032	0,043	0,073	0,12	2,8	0,038

7.6 Контрольные вопросы

7.6.1 Чем отличается модель системы ТПН – АД с симметричными тиристорными преобразователями напряжения от модели с несимметричными тиристорными преобразователями напряжения?

7.6.2 Какие изменения следует осуществить в блоке параметров асинхронного двигателя для перехода от модели асинхронного двигателя с фазным ротором к модели короткозамкнутого асинхронного двигателя?

7.6.3 Какую функцию для тиристорного преобразователя напряжения выполняет блок Pulse Generator?

7.6.4 Какую функцию в модели выполняет блок Machines Measurement Demux?

7.6.5 Структурная схема САУ. Основные элементы структурных схем.

7.6.6 Алгоритм построения структурной модели динамических процессов.

7.6.7 Каким образом определяются параметры звеньев первого по экспериментально снятым $h(t)$?

7.6.8 Свойство устойчивости систем.

8 Лабораторная работа №8. Исследование автоколебаний в нелинейных системах автоматического управления

Цель: теоретическое и экспериментальное определение параметров автоколебаний нелинейных САУ.

8.1 Краткое теоретическое введение

В состав автоматических систем часто входят существенно нелинейные элементы, которые существенно изменяют характер системы и придают ей такие свойства, которые никогда не могут быть исследованы в рамках линейной теории [6]. Среди нелинейных элементов автоматических систем особую роль играют так называемые безынерционные нелинейности, не обладающие заметным запаздыванием. Элементарным безынерционным звеном будем называть любую систему, выходная переменная которой в каждый данный момент времени зависит только от значения входной переменной в тот же момент времени и не зависит от того, как изменяется входная переменная до данного момента. Таким образом, оператором элементарного безынерционного звена является обычная функциональная зависимость между входной и выходной переменными. Эта функциональная зависимость называется характеристикой элементарного безынерционного звена. Характеристики элементарных нелинейных звеньев можно разделить на слабые и существенные нелинейности. К первой группе относятся такие нелинейные характеристики, которые при малом диапазоне изменения входного сигнала или при малом его отклонении от изменяющегося среднего значения могут быть заменены линейными. Ко второй группе относятся нелинейные характеристики, которые являются существенно нелинейными функциями, например, разрывными или близкими к разрывным. Зависимость между входной и выходной переменными для таких элементов чаще всего может быть приближенно представлена в виде кусочно-линейных функций.

На рисунке 8.1 представлены характеристики нелинейных элементов, применяемых в работе [5].

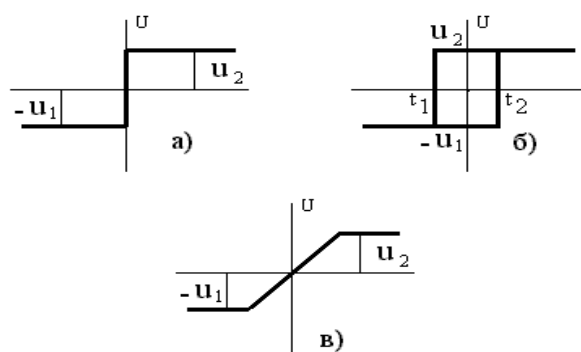


Рисунок 8.1 - Характеристики НЭ

Для исследования режима автоколебаний составляют и набирают схему модели, соответствующую структурной схеме системы (рисунок 8.2). Амплитуда и частота автоколебаний на входе нелинейного элемента, т.е. на выходе САУ, определяются по осциллографу. Параметры блоков приведены в таблице 8.1.

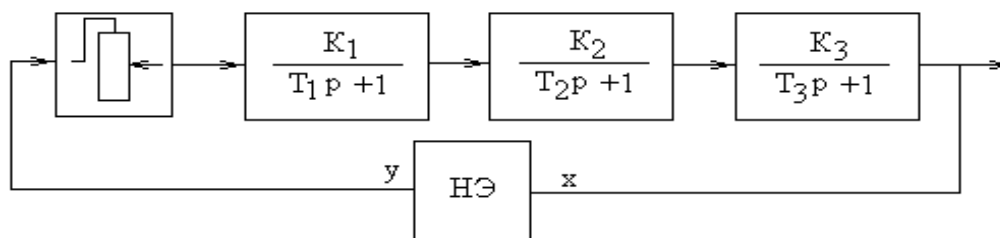


Рисунок 8.2 - Структурная схема

8.2 Программа работы

8.2.1 Набрать схемы, подготовленные при домашней подготовке.

8.2.2 Снять зависимость амплитуды и частоты автоколебаний на выходе САУ от коэффициента усиления линейной части системы. Убедиться в том, что линейная часть является фильтром низких частот.

8.2.3 Сравнить экспериментальные зависимости с расчетными, оценить их совпадение и проанализировать причины их расхождения.

8.2.4 Методические указания к выполнению работы.

Таблица 8.1 – Параметры блоков

№ варианта	T_1, c	T_2, c	T_3, c	Вид нелинейности	U_1 U_2	t_1 t_2
1	1	0.1	0.1	Блок 2,а	50	-
2	1	1	0.1	Блок 2,а	70	-
3	0.2	0.1	0.1	Блок 2,а	60	-
4	1	0.1	0.1	Блок 2,б	50	10
5	1	1	0.1	Блок 2,б	60	5
6	1	0.5	0.1	Блок 2,в	80	-

8.3 Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие разделы:

- 1) Титульный лист.
- 2) Цель и порядок выполнения работы.
- 3) Краткое изложение теоретической части.

- 4) Структурные схемы САУ. Схемы моделей.
- 5) Результаты экспериментов в виде осциллограмм.
- 6) Выводы.

8.4 Контрольные вопросы

8.4.1 На каком допущении основан метод гармонической линеаризации?

8.4.2 Какой вид имеет эквивалентная передаточная функция для рассматриваемой в работе системы?

8.4.3 Как определить условия возникновения и параметры автоколебаний в нелинейной САУ по критерию Гурвица, Михайлова, Найквиста?

8.4.4 Какие можно выделить группы нелинейных звеньев?

8.4.5 Назовите существующие типовые нелинейности?

8.4.6 Какой раздел библиотеки Simulink используется для исследования нелинейных систем?

8.4.7 Приведите примеры и поясните физическую природу нелинейных эффектов в САУ.

8.4.8 Что называется статической характеристикой и с какой целью ее определяют?

Приложение А

В настоящее время разработано большое число в основном приближенных методов синтеза корректирующих устройств. Наибольшее распространение в инженерной практике получили графо-аналитические методы синтеза, основанные на построении инверсных и логарифмических частотных характеристик разомкнутой системы. При этом широко используются косвенные оценки качества переходного процесса, не требующие решения системы дифференциальных уравнений, такие, как запас по фазе, запас по модулю, колебательность, частота среза, которые можно непосредственно определить по частотным характеристикам.

К другой группе относятся аналитические методы синтеза. Для них находятся выражения, аналитически связывающие показатели качества системы с параметрами корректирующего устройства, и определяются значения параметров, соответствующих экстремальному значению функции.

К этим методам относится синтез системы по интегральным критериям качества переходного процесса и критерию среднеквадратичной ошибки.

Применение современных средств вычислительной техники снимает трудности, связанные с непосредственным решением дифференциальных уравнений и построением переходных процессов. В связи с этим, наблюдается тенденция решать задачу не приближенными методами, а путем направленного перебора решений исходной системы дифференциальных уравнений при вариации интересующих исследователя параметров корректирующего устройства.

Рассмотрим подробнее удобный из графо-аналитических методов синтеза - метод логарифмических амплитудных характеристик. Он применяется для синтеза минимально-фазовых САР, у которых имеется однозначная связь между амплитудной и фазовой частотной характеристиками.

Процесс синтеза включает в себя следующие этапы:

- строится ЛАЧХ исходной нескорректированной системы $L_{НС}(\omega)$ с учетом требуемого коэффициента усиления системы K_p в разомкнутом состоянии, который выбирается, исходя из условия обеспечения заданной точности системы в установившемся режиме;

- по заданным показателям качества -перерегулированию σ_{max} , времени регулирования - строится желаемая ЛАЧХ системы $L_{Ж}(\omega)$;

- вычитанием ординат желаемой ЛАЧХ ординат ЛАЧХ исходной нескорректированной системы определяют ЛАЧХ корректирующего устройства $L_K(\omega)$;

- по полученной $L_K(\omega)$ находится $W_K(p)$ и подбирается наиболее простой способ технической реализации.

Пусть передаточная функция нескорректированной следящей системы в разомкнутом состоянии:

$$W_p(p) = \frac{K_p}{p(1+T_1p)(1+T_2p)},$$

где $T_1=1c$; $T_2=0,1c$; $K_p=10$.

Соответствующая ей структурная схема (рисунок А.1).

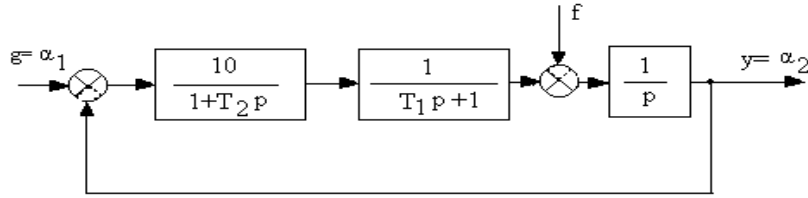


Рисунок А.1 – Структурная схема

Требуется обеспечить следующие показатели качества: перерегулирование $\sigma \leq 30\%$; $t \leq 1.5c$.

Проведем синтез последовательного корректирующего устройства.

Построим ЛАЧХ разомкнутой нескорректированной системы. Для этого находим $20\lg K_p = 20\lg 10 = 20$ и сопрягающие частоты (рисунок А.2):

$$\omega_1 = \frac{1}{T_1} = 1c^{-1}, \quad \omega_2 = \frac{1}{T_2} = 10c^{-1}.$$

Для построения желаемой ЛАЧХ, $L_{ж}$, находим частоту среза $\omega = 6 c^{-1}$, $P_{max} = 1.2$, $\Delta L = \pm 15$, $\Delta\varphi = 45^\circ$.

Находим ЛАЧХ корректирующего устройства, как $L_{кв} = L_{ж} - L_{нс}$.

Определим передаточную функцию и блок - схему реализации КУ:

$$W_{кв}(p) = \frac{1+T_{к1}p}{1+T_{к2}p} = \frac{1+0,6p}{1+0,1p}.$$

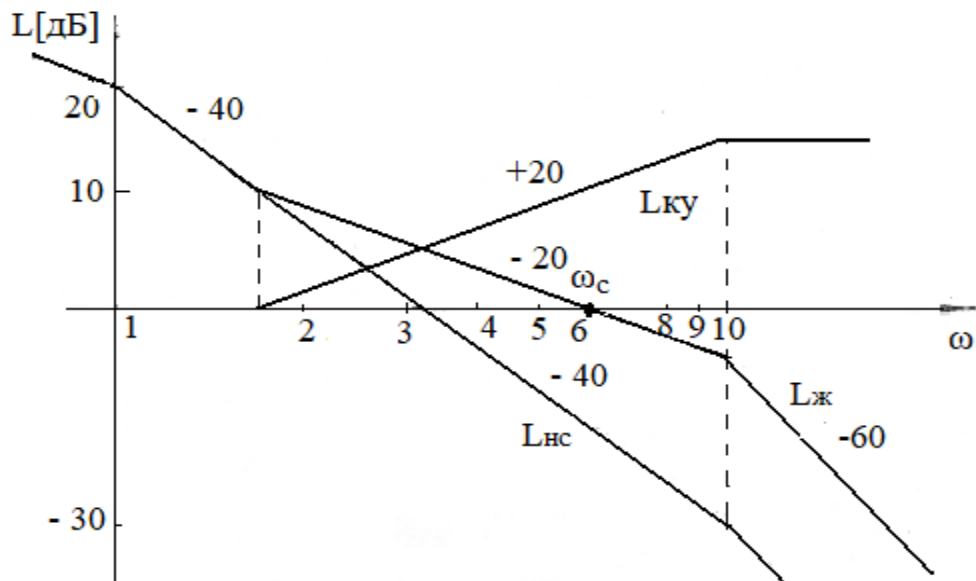


Рисунок А.2 - Логарифмические частотные характеристики

Список литературы

- 1 Малафеев С.И. Основы автоматики и системы автоматического управления. - М.: «Академия», 2010.
- 2 Первозванский А.А. Курс теории автоматического управления. - СПб.: «Лань», 2010.
- 3 Яковлева В.Б. Теория автоматического управления. - М.: «Академия», 2009.
- 4 Советов Б.Я. Теоретические основы автоматизированного управления. - М.: «Академия», 2006.
- 5 Цыба Ю.А. «Системы автоматического управления». Конспект лекций. - Алматы: АУЭС, 2014.
- 6 Сагитов П.И., Цыба Ю.А. Элементы теории автоматического управления. Учебное пособие. - Алматы: АИЭС, 2006.