МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ МОСКОВСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Е.И. МЕРЗЛИКИНА

Моделирование линейных динамических систем управления в пакете Simulink

Лабораторный практикум

Методическое пособие по курсам «Метрология, теплотехнические измерения» и «Теория автоматического управления» для студентов, обучающихся по направлению «Теплоэнергетика и теплотехника»

Москва

Издательский дом МЭИ

2016

УЛК 621.398 ББК 32.965 M 521

Утверждено учебным управлением МЭИ

Подготовлено на кафедре автоматизированных систем управления тепловыми процессами

Рецензент: к.т.н., доцент Кузищин В.Ф.

Мерзликина Е.И.

М 521. Моделирование линейных динамических систем управления в пакете Simulink. Лабораторный практикум: Методическое пособие/ Е.И. Мерзликина. – М.: Издательский дом МЭИ, 2016. – 24 с.

Посвящено изучению пакета Simulink и способов моделирования элементарных звеньев, состоящих из них сложных структур, типовых регуляторов и систем регулирования в этом пакете. В пособие входят описания пяти лабораторных работ.

Продолжительность лабораторных занятий – 4 часа. Предназначено для студентов ИТАЭ, ИПЭЭФ.

Учебное издание

Мерзликина Елена Игоревна

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В **ΠΑΚΕΤΕ SIMULINK**

Лабораторный практикум

Методическое пособие по курсам «Метрология, теплотехнические измерения», «Теория автоматического управления» для студентов, обучающихся по направлению «Теплоэнергетика и теплотехника»

Редактор издательства			
Темплан издания МЭИ 2016, учебн.		Подписано в печать	
Печать офсетная Формат 60х84/16		Физ. печ. л. 1,5	
Тираж 100 экз.	Изд. №	Заказ №	
3	АО «Издательский дом МЭИ»	, 111250, Москва, Красноказарменная, д. 14	
On	печатано в типографии ФКП	«НИИ «Геодезия», 141292, Московская обл.,	
	г. Красноармейс	ск, просп. Испытателей, д. 14	
		© Национальный исследовательский униве	рситет

Московский энергетический институт, 2016

ВВЕДЕНИЕ

Программы в Simulink состоят из блоков и напоминают программы на языках FBD или CFC. Блоки из библиотек мышью переносятся в рабочее поле, где тоже мышью соединяются друг с другом. Если щелкнуть по блоку дважды левой кнопкой мыши, откроется окно параметров, если правой кнопкой — контекстное меню, с помощью которого можно повернуть блок и т.д. Ниже кратко описаны некоторые блоки.

ОПИСАНИЕ НЕКОТОРЫХ БЛОКОВ ИЗ БИБЛИОТЕК SIMULINK

Блоки источников сигнала расположены в библиотеке Simulink→Sources; краткие сведения о них приводятся в таблице 1.

Таблица 1

№	Имя	Изобра-	Описание	Примечания		
		жение				
1	Clock	Θ	Временной	Блок не имеет входов		
			сигнал			
2	Constant	1	Постоянная	Задается величина постоянной		
3	Step		Ступенька	Задается начальное и конечное значение сигнала и время его подачи относительно начала моделирования		
4	Sine wave	\mathbb{A}	Синусоида	Задается частота и амплитуда		

Источники сигнала

Блоки приемников сигнала расположены в библиотеке Simulink→Sinks; краткие сведения о них приводятся в таблице 2.

Таблица 2

Приемники сигнала

N⁰	Имя	Изобра-	Описание	Примечания	
		жение			
1	XY	Q	График в декартовой	По оси абсцисс отклады-	
	Graph		системе координат	вается подаваемая на	
				верхний вход переменная	
2	To File	untitled.mat	Вывод в файл	В параметрах указывается	
				имя файла.	
3	Scope		График в декартовой	По оси абсцисс всегда	
			системе координат (от	откладывается время	

			времени)				
4	Display	ē	Вывод	численного	В	параметрах	можно
			значения	подаваемой	указ	зать	формат
			на вход пе	ременной	выв	одимого числа	

Также для работы могут потребоваться некоторые блоки библиотеки Simulink—Signal Routing, приведенные в таблице 3.

Таблица 3

	Способы передачи сигнала							
№	Имя	Изобра-	Описание	Примечания				
		жение						
1	Mux	Mus	Можно направить два или	Задается количество				
		PIGA	более сигнала на входе в один	ВХОДОВ				
			приемник на выходе.	(по умолчанию два).				
2	De-	Demus	Можно направить один сигнал	Задается количество				
	mux	Demu	на входе в два или более	выходов				
			приемника на выходе.	(по умолчанию два).				

Для моделирования элементарных звеньев можно использовать библиотеки Simulink—Continuous и Simulink—Math Operations. Применяемые в работах блоки из этих библиотек описаны в таблице 4.

Таблица 4

N⁰	Имя	Изобра-	Описание	Библиотека
		жение		
1	Gain	~	Умножение на число, задается	Simulink→
			это число.	Math Operations
2	Sum	(,)	Алгебраическое сложение.	Simulink→
		€	Задается число входов.	Math Operations
3	Transfer	1	Апериодическое звено. Задается	Simulink→
	Fcn	s+1	коэффициент передачи и	Continuous
			постоянная времени.	
4	Integra-	1	Интегрирующее звено.	Simulink→
	tor	s		Continuous
5	Deriva-	du/dt	Идеальное дифференцирующее	Simulink→
	tive		звено.	Continuous
6	Trans-	DR/	Запаздывание. Указывается	Simulink→
	port	R	время запаздывания.	Continuous
	Delay			

Блоки, применяемые для моделирования элементарных звеньев

7	Zero- Pole	(s-1) s(s+1)	Передаточная функция про- извольного вида Задают нули и полюса функции.	Simulink→ Continuous
8	PID Controll er	PID	Есть два блока: PID Controller и PID Controller with approximate derivative.	Simulink Extras- Additional Linear

Блок PID Controller реализуют передаточную функцию

$$W(s) = K_p + K_{\rm H} / S + K_{\rm A} S.$$

В этом блоке устанавливаются параметры K_{Π} , K_{μ} , K_{μ} . Блок PID Controller with approximate derivative реализует передаточную функцию

$$W(s) = K_p + K_H / S + K_A S / (\frac{1}{N} S + 1),$$

устанавливаются K_{Π} , K_{μ} , K_{χ} , также устанавливается параметр N.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1 ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЗВЕНЬЯ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Получить основные навыки работы с пакетами Matlab и Simulink, закрепить и углубить знания по теме «Элементарные звенья». Получить переходные характеристики различных звеньев, проследить влияние параметров звена на вид переходных характеристик.

2. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

1. Ознакомиться с работой в пакетах Matlab и Simulink.

2. Изучить способы моделирования в Simulink апериодического (А), пропорционального (П), интегрирующего (И), реального дифференцирующего (РД) звеньев, звена запаздывания (З).

3. Найти параметры звеньев, построить в Simulink переходные характеристики звеньев с данными параметрами.

4. Увеличить и уменьшить каждый параметр каждого звена в два раза (если у звена несколько параметров, сначала варьируется один из них, остальные постоянны, потом, таким же образом, другой, и т.д.). Построить в Simulink на одной координатной плоскости переходные характеристики звеньев с различными параметрами, изучить влияние параметров звена на вид его переходной характеристики.

5. Снять реакцию звеньев с данными параметрами на синусоидальный сигнал на входе. Построить на одной координатной плоскости графики сигналов на входе и выходе звена.

6. Сделать выводы по работе.

3. ВОПРОСЫ ДЛЯ КОЛЛОКВИУМА ПЕРЕД РАБОТОЙ

- 1. Что называется элементарным звеном?
- 2. Какие существуют динамические характеристики линейных систем?
- 3. Что называется передаточной функцией?
- 4. Что называется переходной характеристикой?
- 5. Что называется импульсной переходной характеристикой?
- 6. Что называется функцией Хевисайда?
- 7. Что называется функцией Дирака?
- 8. Какие существуют элементарные звенья?

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Задание 1. Моделирование и получение характеристик А-звена

1.1 Запустить Matlab и Simulink, составить в Simulink программу по образцу, приведенному на рис. 1. Параметры А-звена рассчитать в соответствии с таблицей 5.



Рис. 1. Пример программы на Simulink. Снятие переходной характеристики А-звена.

В таблице 5 N - номер студента по журналу, G – номер группы.

Таблица 5.

параметры звеньев для моделирования								
П	А		И	Д, РД		3		
Кп	Ка	Та	Ки	Кд	Тд	τ		
1+0.1G+0.1N	1+0.1G+0.1N	1+0.2G+0.2N	1+0.2G+0.1N	1+0.2G+0.2N	1+0.2G+0.2N	0.5*N*G+2		

Параметры звеньев для моделирования

Результат моделирования (переходная характеристика А-звена с K=2 и T=15) приведен на рис. 2.

1.2. Увеличить и уменьшить в два раза коэффициент передачи Азвена, построить на одной координатной плоскости переходные характеристики для трех случаев (исходного и измененных коэффициентов). Образец программы приведен на рис. За. Для вывода трех графиков на одну координатную плоскость используется блок Mux. Результат моделирования приведен на рис. Зб. Постоянная времени у всех звеньев одинакова (15), коэффициенты передачи, соответственно, 1, 2 и 4.



Рис. 2. График переходной характеристики А-звена.



Рис. 3:а - программа для снятия переходных характеристик трех А-звеньев с разными параметрами; б - Переходные характеристики для трех А-звеньев.

1.3. Установить исходный коэффициент передачи А-звена. Увеличить и уменьшить в два раза постоянную времени, построить на одной координатной плоскости переходные характеристики для трех случаев (аналогично пункту 1.2).

Задание 2. Моделирование и получение характеристик П-звена

2.1. Найти коэффициент передачи П-звена в соответствии с Таблицей 5. Составить программу для моделирования П-звена, аналогичную приведенной на рис. 1, вместо блока Transfer Fcn использовать блок Gain. Для большей наглядности переходной характеристики параметр Step Time блока Step можно установить равным 1 (в этом случае ступенчатое воздействие будет наноситься в момент времени t=1). Получить переходную характеристику данного звена. 2.2. Увеличить и уменьшить в два раза коэффициент передачи П-звена, получить на одной координатной плоскости графики переходных характеристик для трех случаев как описано выше (пункты 1.2-1.3).

Задание 3. Моделирование и получение характеристик И-звена

3.1. Найти коэффициент передачи И-звена в соответствии с Таблицей 5. Составить программу для моделирования звена по образцу, данному на рис. 4. Блок Gain нужен для установки коэффициента передачи И-звена (на рис. 4 он равен 5). Получить переходную характеристику И-звена.



Рис. 4. Программа для снятия переходной характеристики И-звена.

3.2. Увеличить и уменьшить в два раза коэффициент передачи И-звена, получить на одной координатной плоскости графики переходных характеристик для трех случаев описанным выше способом.

Задание 4. Моделирование и получение характеристик РД-звена 4.1. Найти коэффициент передачи и постоянную времени РД-звена в соответствии с Таблицей 5. Составить программу для снятия переходной характеристики РД-звена с данными параметрами. Для моделирования можно воспользоваться блоком Zero-Pole. На рис. 5 приведена программа для моделирования РД-звена с Кд=10 и Тд=5, с помощью блока Zero-Pole.



Рис. 5. Программа для снятия переходной характеристики РД-звена.

4.2. Увеличить и уменьшить в два раза коэффициент передачи РДзвена, построить на одной координатной плоскости графики переходных характеристик для трех случаев описанным выше способом.

4.3. Увеличить и уменьшить в два раза постоянную времени РД-звена, построить на одной координатной плоскости графики переходных характеристик для трех случаев описанным выше способом.

Задание 5. Моделирование и получение характеристик 3-звена

5.1. Найти время запаздывания в соответствии с Таблицей 5. Составить программу для снятия переходной характеристики З-звена, образец программы приведен на рис. 6.



Рис. 6. Программа для снятия переходной характеристики З-звена.

5.2. Увеличить и уменьшить в два раза время запаздывания, построить на одной координатной плоскости графики переходных характеристик для трех случаев описанным выше способом.

Задание 6. Получение реакции звеньев на гармоническое воздействие

6.1. Составить программу для моделирования реакции элементарного звена на гармоническое воздействие. Образец программы приведен на рис. 7а. Сигнал на входе и на выходе элементарного звена выводятся на одну координатную плоскость. Результат приведен на рис. 7б. На вход А-звена подавался гармонический сигнал с амплитудой 1 и частотой 0,5. Сигнал на входе имеет бОльшую амплитуду.



Рис. 7: а - программа для реализации подачи на вход А-звена гармонического сигнала; б - гармонический сигнал на входе и на выходе А-звена.

5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

- 1. Титульный лист.
- 2. Цель работы.
- 3. Программы в Simulink и пояснения к ним.
- 4. Результаты моделирования (графики) и пояснения к ним.
- 5. Выводы по работе.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Каким образом можно реализовать модель РД-звена?

2. Какой вид имеет переходная характеристика А-звена? Какой вид она будет иметь, если исходный коэффициент передачи увеличить в три раза по сравнению с исходным?

3. Как по графику переходной характеристики А-звена можно определить его коэффициент передачи? Постоянную времени?

4. Каким образом по графику переходной характеристики РД-звена можно определить его коэффициент передачи? Постоянную времени?

5. Начертите качественно на одной координатной плоскости переходные характеристики И-звена с коэффициентами передачи *Ки, 0.4Ки, 1.5Ки*. Как по графику переходной характеристики И-звена можно определить его коэффициент передачи?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 СОЕДИНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЗВЕНЬЕВ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Закрепить навыки работы с Matlab и Simulink, закрепить и углубить знания по теме «Соединения звеньев». Получить переходные характеристики различных соединений элементарных звеньев.

2. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

1. Построить переходную характеристику последовательного соединения двух А-звеньев.

2. Построить переходную характеристику параллельного соединения двух А-звеньев.

3. Построить переходную характеристику последовательного соединения трех А-звеньев.

4. Построить переходную характеристику последовательного соединения З-звена и А-звена.

5. Построить переходную характеристику последовательного соединения И и А-звена.

6. Построить переходную характеристику параллельного соединения А и И звена, сигнал И-звена взять с отрицательным знаком.

7. Построить переходную характеристику системы с отрицательной обратной связью. В прямом канале находится И-звено, в обратной связи - П-звено.

8. Построить переходную характеристику системы с отрицательной обратной связью. В прямом канале находится П-звено, в обратной связи – И-звено.

3. ВОПРОСЫ ДЛЯ КОЛЛОКВИУМА ПЕРЕД РАБОТОЙ

- 1. Какие существуют типовые соединения звеньев?
- 2. Как можно построить переходную характеристику параллельного соединения звеньев, зная характеристики составляющих?
- 3. Как определить передаточную функцию параллельного соединения звеньев?
- 4. Как определить передаточную функцию последовательного соединения звеньев?
- 5. Как определить передаточную функцию встречно-параллельного соединения звеньев?
- 6. Как определить частотные характеристики параллельного соединения звеньев, зная характеристики составляющих?
- 7. Как определить частотные характеристики последовательного соединения звеньев, зная характеристики составляющих?
- 8. Как построить переходную характеристику последовательного соединения звеньев, зная характеристики составляющих?
- 9. Как влияет наличие запаздывания в объекте на вид годографа КЧХ объекта?
- 10.Как влияет наличие интегрирующего звена в составе объекта на вид переходной характеристики объекта?

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Задание 1. Построить переходную характеристику последовательного соединения нескольких А-звеньев

1.1. Составить в Simulink программу, моделирующее последовательное соединение двух А-звеньев, получить переходную характеристику этой системы. Параметры звеньев найти в соответствии с таблицей 6.

1.2. Составить в Simulink программу, моделирующее последовательное соединение трех А-звеньев, получить переходную характеристику данной системы. Параметры звеньев найти в соответствии с таблицей 6.

Таблица 6.

параметры звеньев для моделирования							
П	A1		И	A2		3	
Кп	Ка	Та	Ки	Ка	Та	τ	
1+0.2G+0.3N	1+0.2G+0.1N	1+0.2G+0.3N	1+0.1G+0.2N	1+0.4G+0.2N	1+0.2G+0.4N	0.5*N*G+4	

Параметры звеньев для моделирования

Задание 2. Построить переходную характеристику параллельного соединения двух А-звеньев

2.1. Составить в Simulink программу, моделирующее параллельное соединение двух А-звеньев, получить переходную характеристику этой

системы. Для звеньев использовать те же параметры, что и в Задании 1. Пример программы приведен на рис. 8.



Рис. 8. Программа для моделирования параллельного соединения двух А-звеньев.

Задание 3. Построить переходную характеристику последовательного соединения А-звена и 3-звена

3.1. Составить в Simulink программу, моделирующую последовательное соединение А и 3-звена, получить переходную характеристику этой системы. Параметры звеньев найти в соответствии с таблицей 6.

3.2. Увеличить и уменьшить время запаздывания в два раза, получить переходную характеристику системы. Проанализировать влияние запаздывания на функционирование динамической системы.

Задание 4. Построить переходную характеристику последовательного и параллельного соединения А и И-звена

4.1. Составить в Simulink программу, моделирующее параллельное соединение А и И-звена, получить переходную характеристику этой системы. Параметры звеньев найти в соответствии с таблицей 6.

4.2. Составить в Simulink программу, моделирующее параллельное соединение А и И-звена (выход И-звена с минусом), получить переходную характеристику этой системы. Параметры звеньев те же, что и в предыдущем пункте.

Задание 5. Построить переходную характеристику встречнопараллельного соединения П и И-звена

5.1. Составить в Simulink программу, моделирующее встречнопараллельное соединение П и И-звена, получить переходную характеристику этой системы. Параметры звеньев найти в соответствии с таблицей 6. В прямом канале находится И-звено, в обратной связи – П-звено, обратная связь отрицательная. Пример программы приведен на рис. 9.



Рис. 9. Программа, моделирующая встречно-параллельное соединение И и Пзвеньев.

5.2. Составить в Simulink программу, моделирующее встречнопараллельное соединение П и И-звена, получить переходную характеристику этой системы. Параметры звеньев те же, что и в предыдущем пункте. В прямом канале находится П-звено, в обратной связи – И-звено, обратная связь отрицательная.

5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

- 1. Титульный лист.
- 2. Цель работы.
- 3. Программы в Simulink и пояснения к ним.
- 4. Передаточные функции рассматриваемых систем звеньев и пояснения к ним.
- 5. Результаты моделирования (графики) и пояснения к ним.
- 6. Выводы по работе.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Даны две системы, состоящие из трех А-звеньев и З-звена, соединенных последовательно. А-звенья в обеих системах одинаковы, время запаздывания разное. Постройте переходные характеристики на одной координатной плоскости.

2. С помощью каких звеньев можно представить РД-звено? Каким образом должны быть соединены данные звенья?

3. С помощью каких звеньев можно представить А-звено? Каким образом должны быть соединены данные звенья?

4. С помощью каких звеньев можно построить модель объекта с самовыравниванием?

5. С помощью каких звеньев можно построить модель объекта без самовыравнивания?

6. Имеется объект, переходная характеристика которого имеет экстремум. Какими звеньями его можно представить? Как их нужно соединить?

7. Постройте переходную характеристику последовательного соединения П-звена и З-звена. Постройте переходную характеристику параллельного соединения этих звеньев. Запишите передаточную функцию системы звеньев для каждого случая.

8. Постройте переходную характеристику параллельного соединения А-звена и З-звена. Запишите передаточную функцию этой системы звеньев.

9. Постройте годограф КЧХ системы трех А-звеньев, соединенных последовательно. Запишите передаточную функцию этой системы.

10. Постройте годограф КЧХ системы трех А-звеньев и З-звена, соединенных последовательно. Запишите передаточную функцию этой системы звеньев.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 ТИПОВЫЕ ЛИНЕЙНЫЕ ЗАКОНЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Закрепить навыки работы с Matlab и Simulink, закрепить и углубить знания по теме «Типовые линейные алгоритмы регулирования». Получить переходные характеристики П, И, ПИ, ПИД-регуляторов и реак-цию их на гармоническое воздействие единичной амплитуды и различных частот. Построить годографы КЧХ и графики АЧХ и ФЧХ для этих алгоритмов.

2. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

1. Получить переходные характеристики П, И, ПИ и ПИД-регулятора.

2. Получить реакцию П, И, ПИ и ПИД-регулятора на гармоническое воздействие единичной амплитуды.

3. Построить по результатам пункта 2 годограф КЧХ, графики ФЧХ и АЧХ указанных законов регулирования.

4. Изменить параметры звеньев, составляющих алгоритмы регулирования, в большую или меньшую сторону, построить переходные характеристики; снять реакцию на гармоническое воздействие на различных частотах (по заданию преподавателя).

5. Сделать выводы по работе.

3. ВОПРОСЫ ДЛЯ КОЛЛОКВИУМА ПЕРЕД РАБОТОЙ

1. Какими звеньями можно представить ПИ-регулятор? Как эти звенья нужно соединить? Каковы передаточные функции этих звеньев?

2. Какими звеньями можно представить идеальный ПИД-регулятор? Как эти звенья нужно соединить?

3. Постройте переходную, импульсную переходную и частотные характеристики ПИ-регулятора.

4. Постройте переходную, импульсную переходную и частотные характеристики ПИД-регулятора.

5. Как получить выражение для КЧХ, зная выражение для передаточной функции? Как получить выражения для АЧХ и ФЧХ, зная

выражение для КЧХ? Как получить выражение для КЧХ, зная выражения для АЧХ и ФЧХ?

6. Как найти фазовый сдвиг между колебаниями на входе и выходе линейной динамической системы?

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Задание 1. Построить переходные характеристики типовых алгоритмов регулирования

1.1 Составить в Simulink программу, моделирующую П-регулятор, получить его переходную характеристику. Кп найти в соответствии с таблицей 7.

1.2 Составить в Simulink программу, моделирующую И-регулятор, получить его переходную характеристику. Ки найти в соответствии с таблицей 7.

1.3. Составить в Simulink программу, моделирующую ПИ-регулятор, получить его переходную характеристику. Кп и Ти найти в соответствии с таблицей 7. Можно составить регулятор из П и И-звеньев или использовать блок PID Controller (Simulink Extras → Additional Linear).

1.4. Составить в Simulink программу, моделирующую ПИДрегулятор, получить его переходную характеристику. Кп и Ти найти в соответствии с таблицей 7. Можно составить регулятор из звеньев или воспользоваться блоком PID Controller.

Параметры регуляторов для моделирования

Параметры для моделирования приводятся в таблице 7.

Таблица 7.

параметры эвеньев для модетпрования					
Π	И	Д			
Кп	Ки	Кд			
0.2+0.5*G+0.5*N	0.5+0.2*G+0.2*N	0.8+0.8*G+0.6*N			

Параметры звеньев для моделирования

Задание 2. Построить гармонические характеристики типовых алгоритмов регулирования

2.1. Построить реакцию П-регулятора на гармоническое воздействие единичной амплитуды, выбрав три значения частоты.

2.2. Построить реакцию И-регулятора на гармоническое воздействие единичной амплитуды, выбрав три значения частоты. Одно из значений должно быть очень близким к нулю (меньше 0,005).

2.3. Построить реакцию ПИ-регулятора на гармоническое воздействие единичной амплитуды, выбрав самостоятельно три значения частоты. Одно из значений должно быть очень близким к нулю (меньше 0,005).

2.4. Построить реакцию ПИД-регулятора на гармоническое воздействие единичной амплитуды, выбрав минимум три значения частоты. Одно из значений должно быть очень близким к нулю (меньше 0,005). Одно из значений должно быть тем, при котором годограф КЧХ пересекает вещественную положительную полуось, оно рассчитывается (1)

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{T_{\mu}T_{\mu}}}; \qquad (1)$$

где: T_u – постоянная времени интегрирования, T_{∂} – постоянная времени дифферецнирования. Два другие значения частоты должны быть меньше и больше значения, рассчитанного по (1). Рекомендуется выполнить моделирование при шести-семи значениях частоты

5. ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

5.1. Найти по графику амплитуду выходного сигнала для каждого случая. Результаты внести в таблицу 8.

5.2. Найти разницу по времени между одноименными точками на графиках зависимости от времени для входного и выходного сигнала (вычитается время для выходного сигнала из времени для входного!). Умножить найденное значение на частоту. Результат внести в Таблицу 8.

Таблица 8

Регулятор:			
ω	$\omega_1 =$	$\omega_2 =$	$\omega_3 =$
A_{y}			
Δt			
$\phi = \Delta t^* \omega$			

Результаты эксперимента по получению гармонических характеристик

5.3 Построить по точкам в математическом пакете или на миллиметровой бумаге экспериментальные графики АЧХ $A(\omega)$, ФЧХ $\phi(\omega)$ и годограф КЧХ. Все построения на бумаге выполнить с помощью чертежных инструментов, на годографах указать направление изменения частоты. На тех же координатных плоскостях построить графики, рассчитанные аналитически.

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

1. Титульный лист.

- 2. Цель работы.
- 3. Программы в Simulink и пояснения к ним.

- 4. Передаточные функции рассматриваемых алгоритмов регулирования.
- 5. Результаты моделирования (полученные графики), графики, построенные по результатам моделирования, Таблицу 8 для каждого случая, пояснения к ним.
- 6. Выводы по работе.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как можно экспериментально получить КЧХ динамической системы? АЧХ и ФЧХ динамической системы?

2. Как можно экспериментально получить переходную характеристику динамической системы?

3. Как влияют параметры настройки регуляторов на их характеристики?

4. Как реализован в пакете Simulink идеальный ПИД-регулятор? Запишите передаточную функцию, дайте необходимые пояснения.

5. Начертите переходную характеристику ПИ и ПИД-регулятора.

6. В чем отличие идеального и реального ПИД-регулятора?

7. Начертите переходные характеристики идеального и реального ПИД-регуляторов, поясните их различия.

8. Начертите годографы КЧХ идеального и реального ПИД-регуляторов, поясните их различия.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

ОДИНОКОНТУРНАЯ АСР С ТИПОВЫМИ ЛИНЕЙНЫМИ АЛГОРИТМАМИ РЕГУЛИРОВАНИЯ (П, И, ПИ)

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Закрепить навыки работы с Matlab и Simulink, закрепить и углубить знания по теме «Расчет одноконтурной АСР», получить переходные процессы в одноконтурной АСР с П, И и ПИ-регуляторами, проследить влияние изменения параметров настройки регуляторов на вид переходных процессов.

2. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

1. Рассчитать для заданного объекта одноконтурную АСР с П, И и ПИ-регулятором по методике, описанной в [3].

2. Построить переходные процессы в одноконтурной АСР с Прегулятором при подаче единичного ступенчатого возмущения по каналу задания и регулирования. Оценить показатели качества переходных процессов.

3. Увеличить, затем уменьшить в два раза Кп П-регулятора по сравнению с расчетным. Построить переходные процессы на одной координатной плоскости, сравнить их, оценить показатели качества.

4. Построить переходные процессы в одноконтурной АСР с Ирегулятором при подаче единичного ступенчатого возмущения по каналу задания и по каналу регулирования. Оценить показатели качества переходных процессов.

5. Увеличить, затем уменьшить в два раза Ки И-регулятора по сравнению с расчетным. Построить переходные процессы на одной координатной плоскости, сравнить их, оценить показатели качества.

6. Построить переходные процессы в одноконтурной АСР с ПИрегулятором при подаче единичного ступенчатого возмущения по каналу задания и по каналу регулирования. Оценить показатели качества переходных процессов.

7. Увеличить, затем уменьшить в два раза Кп ПИ-регулятора по сравнению с расчетным; затем сделать то же с Ти. Построить все переходные процессы на одной координатной плоскости, сравнить их, оценить показатели качества.

8. Построить на одной координатной плоскости переходные процессы в АСР с П, И и ПИ-регуляторами при расчетных настройках. Сравнить показатели качества в рассматриваемых случаях.

9. Изменить параметры объекта (изменить одно или несколько значений на 10% в большую или меньшую сторону), построить переходные процессы в этой АСР, сравнить их с исходными (по заданию преподавателя).

10. Сделать выводы по работе.

3. ВОПРОСЫ ДЛЯ КОЛЛОКВИУМА ПЕРЕД РАБОТОЙ

- 1. Что называется Д-разбиением?
- 2. Какой вид имеет граница устойчивости для системы с ПИрегулятором в плоскости Ки-Кп?
- 3. Что называется устойчивостью?
- 4. Что называется запасом устойчивости?
- 5. Как можно определить устойчивость системы управления?
- 6. Какие существуют критерии устойчивости, сформулируйте их.
- 7. Какие существуют прямые показатели качества работы АСР?

8. Какие существуют комплексные показатели качества работы ACP? Что послужило причиной введения комплексных показателей?

4. ЗАДАНИЕ ДЛЯ ДОМАШНЕЙ ПОДГОТОВКИ

В таблице 9 приведены параметры объекта, представляющего собой последовательное соединение двух А-звеньев и З-звена. Принять m=0,366, рассчитать и построить границу области заданного запаса устойчивости в плоскости Ки-Кп. Найти параметры настройки П, И и ПИ-регуляторов, считать, что расчет проводится на минимум линейного интегрального показателя. Отменить соответствующие точки (оптимальные параметры настройки П, И и ПИ-алгоритма) на построенной границе области заданного запаса устойчивости. Расчет вести по методике [3].

Таблица 9.

	1 1			
A1		A	3	
Ка	Та	Ка	Та	Т
1+0.025G	1+0.03G	1+0.05G	1+0.05G	0.08*N*G+2
+0.04N	+0.04N	+0.025N	+0.06N	

Параметры звеньев для моделирования объекта

5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Задание 1. Анализ одноконтурной АСР с П-регулятором

1.1 Составить в Simulink программу, моделирующую АСР с Прегулятором и данным объектом, Кп и параметры объекта найдены при домашней подготовке.

1.2. Подать единичное ступенчатое возмущение на вход регулятора и на вход объекта. Получить переходные процессы для обоих случаев и оценить прямые показатели качества.

1.3. Увеличить, затем уменьшить в два раза Кп по сравнению с расчетным. Получить те же переходные процессы, что и в п.1.2. Построить все переходные процессы на одной координатной плоскости, сравнить их, оценить показатели качества.

Задание 2. Анализ одноконтурной АСР с И-регулятором

2.1 Составить в Simulink программу, моделирующую АСР с Ирегулятором и заданным объектом, Ки и параметры объекта найдены при домашней подготовке.

2.2. Подать единичное ступенчатое возмущение на вход регулятора и на вход объекта. Получить переходные процессы для обоих случаев и оценить прямые показатели качества.

2.3. Увеличить, затем уменьшить в два раза Ки по сравнению с расчетным. Получить те же переходные процессы, что и в п.2.2. Построить все переходные процессы на одной координатной плоскости, сравнить их, оценить показатели качества.

Задание 3. Анализ одноконтурной АСР с ПИ-регулятором

3.1 Составить в Simulink программу, моделирующую АСР с ПИрегулятором и заданным объектом, Кп, Ти и параметры объекта найдены при домашней подготовке.

3.2. Подать единичное ступенчатое возмущение на вход регулятора и на вход объекта. Получить переходные процессы для обоих случаев и оценить прямые показатели качества.

3.3. Увеличить, затем уменьшить в два раза Кп по сравнению с расчетным, затем сделать то же с Ти. Получить те же переходные процессы, что и в п.3.2. Построить все переходные процессы на одной координатной плоскости, сравнить их, оценить показатели качества.

Задание 4. Сравнить переходные процессы в АСР с П, И и ПИрегуляторами

4.1. Построить на одной координатной плоскости переходные процессы в АСР с П, И и ПИ-регулятором с расчетными параметрами настройки при изменении задания на единицу. Сравнить качество переходных процессов.

4.2. Построить на одной координатной плоскости переходные процессы в АСР с П, И и ПИ-регулятором с расчетными параметрами настройки при подаче единичного ступенчатого возмущения на вход объекта по каналу регулирования. На этой же координатной плоскости построить переходную характеристику объекта. Сравнить качество переходных процессов.

5. ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

5.1. Оценка показателей качества работы АСР

По результатам моделирования заполнить для случаев подачи единичного ступенчатого возмущения по каналу изменения задания и регулирования следующую таблицу (таблица 10):

Таблица 10

Регулятор:				
Удин	Устат	Умакс	t _{per}	Ψ

Показатели качества работы АСР

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

- 1. Титульный лист.
- 2. Цель работы.
- 3. Результаты домашней подготовки: формулы для расчета границы устойчивости, график границы устойчивости и границы области заданного запаса устойчивости в плоскости Ки-Кп со всеми отмеченными необходимыми точками.
- 4. Программы в Simulink и пояснения к ним.
- 5. Результаты моделирования (графики) и пояснения к ним.
- 6. Оценка качества полученных переходных процессов (Таблица 10).
- 7. Выводы по работе.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Дана одноконтурная АСР с ПИ-регулятором. Построить в плоскости Ки-Кп границу устойчивости и границы области заданного запаса устойчивости для m=0,366 и m=0,221, отметить характерные точки.

2. В устойчивой одноконтурной АСР с П-регулятором увеличили Кп в два раза. Как изменится работа АСР?

3. Как можно вычислить степень затухания?

4. На один и тот же объект установили АСР с П-регулятором в одном случае и И-регулятором – в другом. Сравните переходные процессы в обоих случаях.

5. В устойчивой одноконтурной АСР с ПИ-регулятором уменьшили в два раза Кп. Как изменится работа АСР?

6. Почему И-регулятор не используется на практике?

7. В устойчивой одноконтурной АСР с ПИ-регулятором увеличили задание на 1. Постройте переходный процесс в данной АСР.

8. Сравните работу АСР с П и ПИ-регулятором. Каковы их достоинства и недостатки?

9. Каким образом можно численно описать запас устойчивости АСР?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5 ОДИНОКОНТУРНАЯ АСР С ПИД-РЕГУЛЯТОРОМ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Закрепить навыки работы с пакетами Matlab и Simulink, закрепить и углубить знания по теме «Расчет настроек одноконтурной АСР», получить переходные процессы в одноконтурной АСР с ПИД-регуляторами,

проследить влияние изменения параметров настройки регуляторов на вид переходных процессов.

2. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

1. Рассчитать для заданного объекта одноконтурную АСР с идеальным ПИД-регулятором по методике, описанной в [3].

2. Построить переходные процессы в данной АСР при подаче единичного ступенчатого возмущения по каналу задания и по каналу регулирования для настроек, соответствующих минимуму линейного интегрального показателя, и робастных настроек. Оценить показатели качества полученных переходных процессов, сравнить процессы.

3. Увеличить, затем уменьшить в два раза «робастный» Кп по сравнению с расчетным, затем – Ти и Тд по сравнению с расчетными. Получить переходные процессы, сравнить их с полученными при выполнении п.2 оценить показатели качества.

4. Изменить параметры объекта (изменить одно или несколько значений на 10% в большую или меньшую сторону), построить переходные процессы в данной АСР, сравнить их с процессами, полученными при выполнении п.1.

5. Сделать выводы по работе.

3. ВОПРОСЫ ДЛЯ КОЛЛОКВИУМА ПЕРЕД РАБОТОЙ

1. Какова передаточная функция идеального ПИД-регулятора? Реального ПИД-регулятора?

2. Какой вид имеет граница устойчивости для системы с ПИД-регулятором в плоскости Ки-Кп?

3. Что называется α? С какой целью вводится этот параметр?

4. Что называется $\alpha_{\kappa p}$? Какой вид имеет граница области заданного запаса устойчивости при $\alpha = \alpha_{\kappa p}$?

5. В чем состоит смысл введения Д-звена в алгоритм регулирования?

6. Каковы достоинства и недостатки ПИД-регулятора?

4. ЗАДАНИЕ НА ДОМАШНЮЮ ПОДГОТОВКУ

Для объекта из лабораторной работы 4 принять m=0,366, рассчитать и построить границу области заданного запаса устойчивости для АСР с ПИД-регулятором в плоскости Ки-Кп. Найти параметры настройки ПИД-регулятора, соответствующие минимуму линейного интегрального показателя и робастные параметры настройки. Расчет вести по методике [3].

5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Задание 1. Анализ АСР с ПИД-регулятором с расчетными настройками

1.1 Составить в Simulink программу, моделирующую АСР с ПИДрегулятором и заданным объектом, параметры объекта и настройки регулятора найдены при домашней подготовке.

1.2. Подать единичное ступенчатое возмущение на вход регулятора и на вход объекта. Получить переходные процессы для обоих случаев и оценить прямые показатели качества.

Задание 2. Анализ АСР с ПИД-регулятором и измененными настройками

2.1. Увеличить, затем уменьшить в два раза Кп по сравнению с расчетным, затем сделать то же с Ти и Тд. Получить переходные процессы, упомянутые в п. 1.2. Построить все переходные процессы для одного случая на одной координатной плоскости, сравнить их, оценить показатели качества.

Задание 3. Анализ реакции АСР с ПИД-регулятором на изменение параметров объекта

3.1. Увеличить на 10%, затем уменьшить на 10% коэффициент передачи объекта по сравнению с заданным, затем сделать то же с постоянными времени и временем запаздывания. Получить переходные процессы (п.1.2). Построить переходные процессы для одного случая на одной координатной плоскости, сравнить их, оценить показатели качества.

6. ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

6.1. Оценка качества работы АСР

По результатам моделирования заполнить для случаев подачи единичного ступенчатого возмущения по каналу изменения задания и регулирования для всех указанных выше заданий таблицу 10.

7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

1. Титульный лист.

2. Цель работы.

3. Результаты домашней подготовки: формулы для расчета границы устойчивости, график границы устойчивости в плоскости Ки-Кп со всеми отмеченными необходимыми точками.

4. Программы в Simulink и пояснения к ним.

5. Результаты моделирования (полученные графики).

6. Оценка качества полученных переходных процессов.

7. Выводы по работе.

8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Дана одноконтурная АСР с ПИД-регулятором. Построить в плоскости Ки-Кп границу устойчивости и границы области заданного запаса устойчивости для m=0,366 и m=0,221 при α<α_{кр}.

2. Дана одноконтурная АСР с ПИД-регулятором. Построить в плоскости Ки-Кп границу устойчивости при m=const и $\alpha = \alpha_{\rm kp}$. Отметить точку, соответствующую минимуму линейного интегрального показателя. Что можно сказать о работе системы регулирования при данных параметрах настройки?

3. Как рассчитываются параметры настройки одноконтурной АСР с ПИДрегулятором на минимум линейного интегрального показателя при m=const?

4. Дана одноконтурная АСР с ПИ и ПИД-регулятором. Постройте переходные процессы в данных АСР при ступенчатом возмущении на вход объекта, и при изменении задания. Дайте необходимые пояснения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андрюшин А.В., Сабанин В.Р., Смирнов Н.И. Инноватика и управление в теплоэнергетике. – Учебник. М.: Изд. дом МЭИ, 2011.

2. Ротач В.Я. Теория автоматического управления. – Учебник. М.: Изд. дом МЭИ, 2004, 2008.

3. Панько М.А. Расчет и моделирование автоматических систем регулирования в среде Mathcad. – М.: Издательство МЭИ, 2004. 112 с.

Оглавление

Введение	3			
Описание некоторых блоков из библиотек Simulink				
Лабораторная работа №1. Элементарные звенья и их характеристики.				
Лабораторная работа №2. Соединения элементарных звеньев				
Лабораторная работа №3. Типовые линейные законы регулирования				
и их характеристики	14			
Лабораторная работа №4. Одноконтурная АСР с типовыми				
линейными законами регулирования (П, И, ПИ)				
Лабораторная работа №5. Одноконтурная АСР с ПИД-регулятором				
Список литературы	24			