

ЭМБЧ

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ И ПИЩЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ



Кафедра автоматике и автоматизации
производственных процессов

ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Рабочая программа, методические указания
и варианты заданий для выполнения контрольных
и курсовой работ для студентов специальности 220301
и направления 220200
факультета заочного обучения и экстерната

Второе издание, исправленное



Санкт-Петербург 2008

Лазарев В.Л. Теория автоматического управления: Рабочая программа, метод. указания и варианты заданий для выполнения контрольных и курсовой работ для студентов спец. 220301 и направления 220200 факультета заочного обучения и экстерната. 2-е изд., испр. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2008. – 23 с.

Приводятся варианты заданий для выполнения курсового проекта и контрольных работ по курсу «Теория автоматического управления». Содержание заданий посвящено проведению анализа и синтеза автоматического управления.

Рецензент
Канд. техн. наук, доц. В.А. Нелеп

Рекомендованы к изданию редакционно-издательским советом университета

© Санкт-Петербургская государственная академия холода и пищевых технологий, 1995

© Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий, 2008

ВВЕДЕНИЕ

Курс "Теория автоматического управления" изучается студентами заочного факультета на 4-м курсе.

При этом студентами выполняются самостоятельно одна курсовая и 4 контрольных работы. Завершается курс сдачей зачета и экзамена.

Материал по разделам курса изучается и прорабатывается студентами самостоятельно с использованием нижеуказанных литературных источников.

Дополнительный материал и наиболее трудно усваиваемые разделы курса рассматриваются на лекциях в период зачетно-экзаменационной сессии.

Темы лабораторных и практических занятий соответствуют основным разделам курса.

Усвоение студентами материала по разделам курса следует проверять по вопросам самопроверки.

1. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

Часть 1. ПРЕДИСЛОВИЕ

1.1. Целью преподавания дисциплины "Теория автоматического управления" является изучение студентами:

- методов анализа и синтеза систем автоматического управления (САУ);

- методов решения практических задач моделирования, построения и оценки качества переходных процессов, определения устойчивости с использованием аналоговых и цифровых ЭВМ.

1.2. Задачи изучения дисциплины

В результате изучения дисциплины студент должен знать:

- принципы анализа и синтеза систем автоматического управления;

- методы анализа устойчивости различных систем;

- методы оценки качества и построения переходных процессов;
- методы коррекции свойств САУ;
- методы построения оптимальных и адаптивных систем управления;

перспективные направления развития систем автоматического управления,

уметь:

- составлять математическое описание систем;
- определять устойчивость, запас устойчивости систем;
- определять структуру и рассчитывать параметры САУ;
- применять ЭВМ для исследования объектов и систем управления, а также для реализации различных алгоритмов управления.

1.3. Рекомендации по изучению дисциплины

Изучение дисциплины основывается на материале, излагаемом в курсах: "Высшая математика", "Физика", "Вычислительная техника и программирование", "Электротехника", "Математические модели в расчетах на ЭВМ".

Знания, полученные при изучении дисциплины ТАУ, используются при изучении специальных дисциплин: "Метрология", "Технологические измерения и приборы отрасли", "Технические средства автоматизации", "Автоматизация технологических процессов отрасли", "Контроль и автоматизированное управление качеством продукции" и др.

Часть 2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

2.1. Введение

Понятие об автоматическом управлении. Основные определения и положения. Классификация систем автоматического управления. Основные характеристики САУ.

2.2. Линейные САУ

Математическое описание линейных САУ. Составление уравнений звеньев. Линеаризация. Передаточная функция звена. Типовые испытательные воздействия и их математическое описание. Переходные и частотные характеристики, их взаимосвязь с передаточной функцией. Интеграл свертки. Типовые звенья и их свойства. Эквивалентные преобразования структурных схем. Определение передаточной функции системы по передаточным функциям отдельных звеньев.

Стационарные режимы линейных САУ. Статические режимы линей-

ных САУ при детерминированных воздействиях. Способы устранения статических ошибок в САУ.

Действие случайного сигнала (помехи) на линейную систему. Взаимосвязь характеристик случайного процесса на входе и выходе линейной системы. Прохождение случайного сигнала через линейную систему.

2.3. Устойчивость линейных систем

Определение устойчивости. Условия устойчивости. Критерии устойчивости: Рауса-Гурвица, Михайлова, Найквиста. Определение устойчивости по частотным характеристикам. Запасы устойчивости. Влияние запаздывания на устойчивость.

2.4. Качество переходных процессов

Точные методы построения переходных процессов. Показатели качества переходных процессов: прямые и косвенные. Критерии качества переходных процессов: корневые, интегральные, частотные. Синтез линейных САУ по частотным характеристикам.

2.5. Коррекция свойств и порядок синтеза линейных САУ

Назначение и виды коррекции. Последовательные корректирующие звенья. Влияние различных типов корректирующих звеньев на свойства системы. Параллельные корректирующие звенья - обратные связи. Взаимосвязь различных видов коррекции. Порядок синтеза линейных САУ.

2.6. Нелинейные САУ

Определение нелинейной системы. Типовые нелинейности. Построение статических характеристик типовых соединений нелинейных звеньев. Особенности динамики нелинейных систем.

Определение устойчивости нелинейной системы. Методы исследования устойчивости. Метод абсолютной устойчивости В.М.Попова. Геометрическая интерпретация метода.

Исследование динамики нелинейных систем в фазовом пространстве. Фазовые портреты нелинейных систем. Методы построения фазовых траекторий. Метод изоклин. Метод приспособивания.

Метод гармонической линеаризации. Назначение и суть метода. Исследование режимов автоколебаний с помощью метода гармонической линеаризации.

Метод статистической линеаризации. Прохождение случайного сигнала через нелинейное звено. Исследование свойств нелинейной САУ с помощью статистической линеаризации.

2.7. Дискретные САУ

Классификация дискретных САУ: релейные, импульсные и цифровые.

Использование дискретного преобразования Лапласа для математического описания импульсных систем. Определение Z-преобразования. Прямое и обратное Z-преобразования, их свойства. Передаточная функция импульсной системы. Взаимосвязь изображений сигналов ввода и выхода импульсной системы.

Устойчивость импульсных систем. Критерии устойчивости импульсных систем. Переходные процессы в импульсных системах.

Цифровые системы регулирования. Методы исследования и синтеза таких систем. Понятие о гибридных (цифро-аналоговых) системах.

2.8. Оптимальные САУ

Математическая постановка задач оптимального управления. Компоненты задачи: критерии оптимизации, ограничения, начальные и конечные условия, модель. Классификация задач оптимального управления и методов их решения.

Методы решения задач оптимального управления. Динамическое программирование - метод Р. Беллмана. Алгоритмы реализации динамического программирования, области применения. Линейное программирование.

Методы определения экстремума функционала. Метод Эйлера. Метод максимума Л.С. Понтрягина. Применение метода для синтеза оптимальных: по быстрдействию систем. *Робастные системы управления.*

Вопросы для самопроверки по разделам

Раздел 2.1.

1. Как выглядит блок-схема САУ в общем виде?
2. Какие основные устройства входят в состав САУ?
3. По каким основным признакам классифицируются САУ?
4. Какими основными параметрами характеризуются САУ?

Раздел 2.2.

1. Что называется передаточной функцией?
2. Какие бывают испытательные воздействия? Как они описываются математически?
3. Что такое переходная характеристика, функция веса? Как они между собой взаимосвязаны?
4. Какой вид имеют передаточные функции следующих звеньев:
 - а) апериодическое звено 1 порядка;

- б) идеальное (реальное) интегрирующее звено;
- в) идеальное (реальное) дифференцирующее звено;
- г) звено запаздывания;
- д) консервативное звено;
- е) апериодическое звено 2 порядка;
- ж) колебательное звено?

Какой вид имеют соответствующие переходные, частотные характеристики, функции веса?

5. Как определяется статический режим системы?

6. Какие существуют способы устранения статического отклонения?

7. Какими параметрами характеризуется случайный процесс?

8. Как трансформируются автокорреляционная функция и функция спектральной плотности случайного сигнала при прохождении через линейную систему?

Раздел 2.3.

1. Что такое устойчивость?
2. Как связана устойчивость системы с расположением корней характеристического уравнения?
3. Какие существуют критерии устойчивости?
4. Как определяется запас устойчивости?

Раздел 2.4.

1. Какими показателями характеризуется качество переходного процесса?
2. Какими методами можно оценить качество переходного процесса?
3. Каков общий порядок синтеза САУ по частотным характеристикам?

Раздел 2.5.

1. Какие существуют виды коррекции свойств САУ?
2. Как взаимосвязаны между собой параметры эквивалентных последовательных и параллельных корректирующих звеньев?

Раздел 2.6.

1. Какие системы называются нелинейными?
2. В чем проявляются особенности динамики нелинейных систем в отличие от линейных?
3. В чем состоят особенности понятия устойчивости нелинейных систем?
4. Что такое фазовое пространство, фазовая траектория, фазо-

вый портрет?

5. Какие методы используются для построения фазовых траекторий? В чем состоят их особенности?

6. В чем состоят суть и возможности метода гармонической линеаризации?

7. В чем состоят суть и возможности метода статистической линеаризации?

Раздел 2.7.

1. Как определяются и классифицируются дискретные САУ?

2. Какой математический аппарат используется для описания импульсных систем?

3. В чем состоит особенность (в отличие от непрерывных систем) исследования устойчивости импульсных систем и формулировки соответствующих критериев?

4. Какой математический аппарат используется для анализа и синтеза цифровых САУ?

Раздел 2.8.

1. Какое управление называется оптимальным?

2. Как формулируется задача оптимального управления в общем виде?

3. Какие существуют методы решения задач оптимального управления? Каковы области их применения?

3. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

1. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления: Учеб. – СПб.: Профессия, 2003. – 752 с.

2. Егоров А.И. Основы теории управления. – М.: Физматлит, 2004. – 504 с.

3. Лазарев В.Л. Робастные системы управления в пищевой промышленности: Учеб. пособие. – СПб.: СПбГУНИИП, 2003. – 150 с.

4. Сборник задач по теории автоматического регулирования и управления / Под ред. В.А. Бесекерского. – М.: Высш. шк. – 588 с.

Дополнительная литература

1. Методы классической и современной теории автоматического управления. В 5 т. /Под ред. Н.Г. Егунова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005.

2. Никуличев Е.В. Решение задач теории управления MATLAB/Simulink. – М.: Физматлит, 2007.

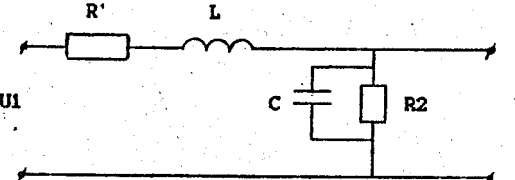
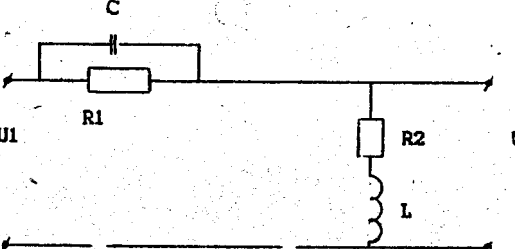
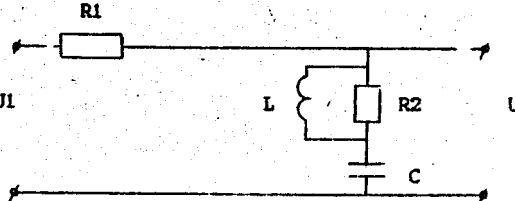
4. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ И УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИИ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

4.1. Контрольная работа К1

Контрольная работа посвящена линейным системам. Цель работы – на конкретных примерах и задачах закрепить полученные знания по методам математического описания и анализа таких систем.

Задача 1

Найти передаточную функцию электрической цепи в общем виде, где $U_{вх} = U_1$; $U_{вых} = U_2$:

N варианта (последняя цифра шифра)	Схема электрической цепи
0	
1	
2	

№ варианта (последняя цифра цифра)	Схема электрической цепи
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	

Задача 2

Построить частотные характеристики в виде АЧХ, ФЧХ, АФЧХ и ЛАХ для следующих объектов:

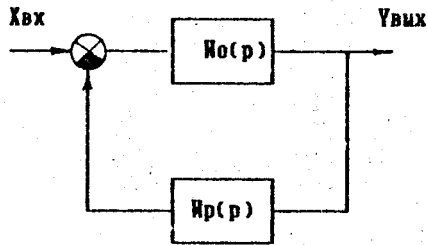
№ варианта (последняя цифра цифра)	Передаточная функция анализируемого объекта $W(p)$
0	$\frac{5p + 1}{0.2p^2 + 10p + 1}$
1	$\frac{10e^{-p}}{p(2p + 1)}$
2	$\frac{0.1p}{(p + 1)(2p + 5)}$
3	$\frac{10e^{-2p}}{0.01p^2 + p + 1}$
4	$\frac{8p + 1}{(p + 1)(0.2p + 1)}$
5	$\frac{e^{-0.1p}}{p(2p + 1)}$
6	$\frac{5e^{-2p}}{0.01p^2 + 1}$
7	$\frac{e^{-0.5p}}{10p(p^2 + p + 1)}$
8	$\frac{10p \cdot e^{-p}}{p^2 + 3p + 4}$
9	$\frac{5p + 1}{p^2(2p + 4)}$

4.2. Контрольная работа №2

Контрольная работа посвящена исследованию устойчивости линейных систем. Цель работы – на конкретных примерах и задачах закрепить полученные знания по различным методам и критериям исследования устойчивости.

Задача

Дана структурная схема САУ.



где $N(p)$ – передаточная функция объекта регулирования;
 $I(p)$ – передаточная функция регулятора.

Определить устойчивость замкнутой системы для заданного варианта следующими методами:

- с помощью критерия Михайлова;
- с помощью критерия Рауса-Гурвица;
- с помощью критерия Найквиста (в случае, если система устойчива, также определить запас устойчивости по фазе ($\Delta\varphi$) и по амплитуде (ΔL)).

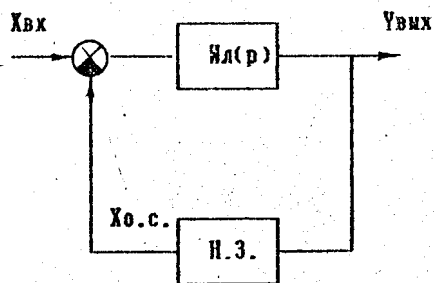
№ варианта (последняя цифра номера)	Передаточная функция	
	$N_o(p)$	$I_p(p)$
0	$\frac{5}{(2p+1)(0.5p+1)}$	$2(1+0.8p+\frac{1}{0.2p})$
1	$\frac{10}{p(0.1p^2+10p+5)}$	$2.5(1+\frac{1}{0.3p})$
2	$\frac{17}{(p+1)(0.1p+1)(0.5p+1)}$	$5(1+0.7p)$
3	$\frac{8}{0.1p^2+3p+1}$	$0.5(1+\frac{1}{0.2p})$
4	$\frac{75}{p(0.2p+1)(p+1)}$	$17(1+\frac{1}{0.5p})$
5	$\frac{2p}{(5p^3+4p^2+13p+5)}$	$10(1+0.5p)$
6	$\frac{5p+1}{(0.1p^3+5p^2+2p+1)}$	$\frac{1}{p+1}$
7	$\frac{p+1}{(0.2p+1)(p^2+7p+1)}$	$3(1+\frac{1}{0.4p})$
8	$\frac{10p}{p^3+10p^2+5p+1}$	$\frac{p}{0.5p+1}$
9	$\frac{5}{(2p^2+10p+3)}$	$3(1+\frac{1}{0.3p}+p)$

4.3. Контрольные работы №3, №4

Контрольная работа посвящена исследованию свойств нелинейных и дискретных САУ. Основное содержание соответствующих разделов курса нагло отражение в следующих задачах:

Задача 1

Структурная схема нелинейной САУ приведена на рисунке.



где $Ял(p)$ – передаточная функция линейной части системы;
 Н.З. – нелинейное звено.

Для заданного варианта определить параметры режима возможных автоколебаний (частоту ω_a и амплитуду A) данной САУ.

№ варианта (последняя цифра цифра)	Параметры САУ	
	$Ял(p)$	Характеристика нелинейного звена
0	$\frac{10}{p(2p+1)(0.1p+1)}$	
1	$\frac{5}{(0.5p^2+2p+1)}$	
2	$\frac{0.5}{p(p+1)}$	
3	$\frac{12}{(0.5p+1)(p+2)}$	
4	$\frac{10}{p(0.5p+1)(0.1p+1)}$	
5	$\frac{10}{(2p+1)p}$	
6	$\frac{2p}{p^2+5p+1}$	

N варианта (последняя цифра шифра)	Параметры САУ	
	W(p)	Характеристика нелиней- ного звена
7	$\frac{12}{0.01p^2 + 0.5p + 1}$	
8	$\frac{p + 1}{p(5p + 1)(2p + 1)}$	
9	$\frac{0.1}{0.1p^2 + 6p + 1}$	

Задача 2

Дана передаточная функция линейной части (W(p)) нелинейной САУ. Определить условия абсолютной устойчивости для заданного варианта.

N варианта (последняя цифра шифра)	W(p)
0	$\frac{10}{p(2p + 1)(5p + 1)}$
1	$\frac{5}{(p + 1)(0.2p + 1)(0.5p + 1)}$
2	$\frac{15}{p^3 + 2p^2 + p + 5}$
3	$\frac{12}{p^4 + 2p^2 + 1}$
4	$\frac{2}{p(p^2 + 7p + 1)}$
5	$\frac{150}{p(0.1p^2 + 2p + 1)}$
6	$\frac{170}{5p^4 + 3p^2 + 1}$
7	$\frac{250}{3p^3 + 2p^2 + 10p + 1}$
8	$\frac{36}{3p^3 + 10p + 35}$
9	$\frac{70}{p(2p^2 + 3p + 1)}$

Задача 3

Вычислить Z-преобразование заданных функций времени $f(t)$ для заданного периода дискретности T_0 .

№ варианта (последняя цифра цифра)	$f(t)$	T_0 (сек)
0	$1 + 2t^2 + \sin t$	0.1
1	$5 + 6t + \cos t$	0.2
2	$5t + 3e^{-2t}$	0.3
3	$3 + 5\sin 3t$	0.4
4	$2t^2 + \cos t$	0.5
5	$0.5t^2 + e^{-t}$	0.6
6	$\sin t + \cos t$	0.7
7	$2 + 3t + 10t^2$	0.8
8	$7t^2 + \cos t$	0.9
9	$e^{-2t} + \cos 2t$	1.0

Задача 4

Дана передаточная функция замкнутой импульсной САР - $\Phi(Z)$.
Определить устойчивость системы для заданного варианта.

№ варианта (последняя цифра цифра)	$\Phi(Z)$
0	$\frac{0.15z}{z^2 + 5z + 0.8}$
1	$\frac{10}{z^3 + 3z^2 + 5z + 1}$
2	$\frac{0.5}{z^3 + z^2 + z + 1}$
3	$\frac{10z}{z^2 - 2z + 0.7}$
4	$\frac{8z}{3z^2 - 4z + 0.5}$
5	$\frac{72}{3z^3 + 5z^2 + 3}$
6	$\frac{17}{8z^3 + 3z^2 + 5}$
7	$\frac{0.1z}{2z^2 - 3z + 0.4}$
8	$\frac{5}{17z^3 + 4z^2 + 3z + 1}$
9	$\frac{23z}{z^2 - 5z + 0.17}$

5. КУРСОВАЯ РАБОТА

5.1. Методические указания по выполнению курсовой работы

Тематика курсовой работы направлена на решение задач анализа и синтеза САР. Для выполнения расчетной части работы целесообразно использование ЭВМ.

Курсовая работа оформляется в виде пояснительной записки, содержащей графические материалы.

В записке приводится формулировка задачи анализа и синтеза САР. Далее приводятся выбор и обоснование метода решения задачи, текст программы и результаты соответствующих расчетов в виде распечаток.

В состав графической части включаются структурная схема САР, схема цепей коррекции, блок-схемы алгоритмов расчетов, моделирования и функционирования системы, а также различные характеристики как отдельных элементов, так и всей системы в виде ЛАХ, АФЧХ, ФЧХ переходных процессов и т.п.

Для выполнения курсовой работы считать заданными.

1. Свойства объекта регулирования в виде передаточной функции в общем виде

$$W(p) = \frac{k_0 e^{-\tau_3 p}}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1} \quad (5.1)$$

2. Передаточную функцию регулятора (цепи обратной связи) в общем виде

$$W_p(p) = k_p \left(1 + \frac{1}{T_n p} + T_n p \right) \quad (5.2)$$

3. Необходимый запас устойчивости САР:

а) по амплитуде $\Delta L > 3\text{дБ}$; (5.3)

б) по фазе $\Delta \varphi > 30^\circ$

4. Требования к характеристикам САР : времени переходного процесса t_n ; величине перерегулирования $\delta(\%)$; допустимой ошибке ϵ в виде

$$\begin{aligned} t_n &< t_{n\text{max}}; \\ \delta &< 30\%; \\ \epsilon &< \epsilon_{\text{max}}. \end{aligned} \quad (5.4)$$

Конкретные значения коэффициентов передачи, времени запаздывания, постоянных времени, величин t_n, δ, ϵ , входящих в выражения 5.1-5.4, приведены ниже в вариантах заданий курсовой работы. Номер

варианта задается студентам по последней цифре их шифра.

Варианты заданий курсовой работы

И вар.	k_0	τ_3 (с)	T_2^2 (с ²)	T_1 (с)	k_p	T_n (с)	T_n (с)	$t_{n\text{max}}$ (с)	ϵ_{max} (%)
0	0.5	0.0	0.5	1.2	7.0	0.0	0.8	2.0	4
1	10	0.2	0.0	0.8	15.0	1.2	—	2.5	3
2	2.5	0.5	0.0	1.5	3.0	0.0	1	4.0	2
3	20	0.0	0.2	1.0	12.0	0.8	—	2.5	5
4	4.0	0.1	0.0	0.7	15.0	0.8	—	2.8	3
5	7.0	0.0	0.01	0.4	7.5	0.5	—	2.0	4
6	1.5	0.0	0.08	0.6	14.0	0.0	0.8	2.2	3
7	18	0.3	0.0	0.8	2.5	0.0	1.0	3.1	4
8	11	0.0	0.1	1.3	1.7	1.0	—	5.2	5
9	2.8	0.0	0.4	1.0	5.0	0.3	—	4.0	3

В работе должны быть выполнены следующие разделы.

1. Расчет и построение переходной характеристики объекта регулирования (одним из известных методов)

2. Расчет и построение частотных характеристик объекта регулирования: амплитудно-фазовой (АФЧХ), амплитудной (АЧХ), фазовой (ФЧХ), логарифмических (амплитудной и фазовой)-ЛАЧХ и ЛФЧХ.

3. Расчет и построение переходного процесса замкнутой САР при единичном ступенчатом возмущении по каналу управления и нуле-

вых начальных условиях.

4. Определение вышеуказанных (5.4) параметров САР и запаса устойчивости (5.3). Проверка выполнения условий (5.3) и (5.4).

5. В случаях невыполнения условий (5.3) и (5.4) для исходного варианта осуществить синтез САР (коррекцию ее свойств), обеспечивающий требуемую точность, запас устойчивости и качество переходного процесса. Определение параметров цепей коррекции целесообразно осуществить методом ЛАХ, а также с использованием пакетов по MATLAB и MATHCAD.

6. Выводы по результатам анализа и синтеза САР.

5.2. Список литературы

Основная литература

1. **Смирнов М.Е.** Методические указания к выполнению курсового проекта по курсу «Теория автоматического регулирования» (Линейные системы). Препринт.

2. **Смирнов В.Л.** Приложение к методическим указаниям для курсового проектирования по курсу «Теория автоматического регулирования» (Линейные системы). Препринт.

Дополнительная литература

1. **Лазарев В.Л.** Робастные системы управления в пищевой промышленности: Учеб. пособие. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2003. – 150 с.

Лазарев Виктор Лазаревич

ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Рабочая программа, методические указания
и варианты заданий для выполнения
контрольной и курсовой работ для студентов
специальности 220301 и направления 220200
факультета заочного обучения и экстерната

Второе издание, исправленное

Редактор
Т.В. Белянкина

Корректор
Н.И. Михайлова

Подписано в печать 21.04.08. Формат 60×84 1/16
Усл. печ. л. 1,4. Печ. л. 1,5. Уч.-изд. л. 1,38
Тираж 100 экз. Заказ № 162 С 62

СПбГУНиПТ. 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9
ИИК СПбГУНиПТ. 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9