



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**УТВЕРЖДАЮ**

Директор ИДО

С.И.Качин

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2013 г.

## **ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ**

Методические указания и индивидуальные задания  
для студентов ИДО, обучающихся по направлению  
140400 «Электроэнергетика и электротехника»

*Составитель  
Митаенко А.Д.*

<b>Семестр</b>	7
Кредиты	4
Лекции, часов	4
Лабораторные занятия, часов	4
Практические занятия, часов	4
Индивидуальные домашние задания	1
Самостоятельная работа, часов	96
Отчетность	экзамен

Издательство  
Томского политехнического университета  
2013





УДК 62-52

Теория автоматического управления: методические указания и индивидуальные домашние задания для студентов ИДО по направлению 140400 «Электроэнергетика и электротехника» / Сост. А.Д. Митаенко. – Томск: Изд-во. Томского политехнического университета, 2013. – 31 с.

Методические указания и индивидуальные домашние задания рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром кафедры ЭПЭО «11» апреля 2013 г. протокол №8.

Зав. кафедрой доцент,

канд. техн. наук \_\_\_\_\_ Ю.Н. Дементьев

### **Аннотация**

Методические указания и индивидуальные домашние задания по дисциплине «Теория автоматического управления» предназначена для студентов специальности 140400 «Электроэнергетика и электротехника».

Приведено содержание основных тем теоретической части дисциплины и методические указания по их изучению. Приведен перечень лабораторных работ и указаны темы практических занятий. Приведены варианты индивидуальных домашних заданий и даны методические указания к их выполнению.





## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>1. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ.....</b>	<b>4</b>
<b>2. СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>6</b>
ТЕМА 1. ВВЕДЕНИЕ .....	6
ТЕМА 2. СТАТИЧЕСКИЙ РЕЖИМ САУ .....	7
ТЕМА 3. ДИНАМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ САУ.....	7
ТЕМА 4. ПЕРЕДАТОЧНЫЕ ФУНКЦИИ, СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ И ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕМЕНТОВ И САУ.....	9
ТЕМА 5. УСТОЙЧИВОСТЬ ЛИНЕАРИЗОВАННЫХ САУ.....	10
ТЕМА 6. МЕТОДЫ КОРРЕКЦИИ ЛИНЕАРИЗОВАННЫХ САУ.....	11
ТЕМА 7. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ .....	12
ТЕМА 8. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАДАННОГО КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ .....	13
<b>3. СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>17</b>
3.1 ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ.....	17
3.2. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ .....	17
<b>4. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ДОМАШНИЕ ЗАДАНИЯ.....</b>	<b>18</b>
4.1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ .....	18
4.2 ВАРИАНТЫ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ.....	19
ЗАДАЧА 1 .....	19
ЗАДАЧА 2.....	21
ЗАДАЧА 3.....	22
ЗАДАЧА 4.....	23
<b>5. ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ КОНТРОЛЬ .....</b>	<b>29</b>
5.1. ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЭКЗАМЕНУ .....	29
5.2. ОБРАЗЕЦ ЭКЗАМЕНАЦИОННОГО БИЛЕТА ДЛЯ СТУДЕНТОВ, ИЗУЧАЮЩИХ ДИСЦИПЛИНУ .....	29
<b>6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>30</b>
6.1. ЛИТЕРАТУРА ОБЯЗАТЕЛЬНАЯ .....	30
6.2. ЛИТЕРАТУРА ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ.....	30



## 1. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

При проектировании систем автоматического регулирования и управления производственными механизмами используются теоретические основы и законы курса «Теория автоматического управления» (ТАУ).

Целью изучения курса ТАУ является изучение теоретических основ и практических методов расчета и анализа систем автоматического управления (САУ) применительно к электромеханическим системам преобразования энергии в производственных механизмах.

В результате изучения курса студент должен освоить теоретические положения и получить практические навыки расчета и исследования узлов и систем регулирования. Для этого необходимо обратить значительное внимание на практическую сторону изучаемых разделов теории (не механически заучивать или запоминать, а осмысливать изученное, самостоятельно решая задачи индивидуальных домашних заданий и учебных пособий). Работая с учебниками, необходимо составлять краткий конспект, облегчающий усвоение и повторение материала, а после изучения каждой темы необходимо ответить на вопросы для самопроверки.

**Коррективы.** Знания и навыки, полученные при изучении курса ТАУ, являются ключевыми, при изучении специальных технических дисциплин («Теория электропривода», «Систем автоматического управления электроприводами», «Элементы автоматики»), при выполнении курсовых и дипломного проектов по специальности, в практической инженерной работе.

**Пререквизиты.** Изучение курса ТАУ базируется на знаниях курсов «Высшая математика» (в частности, разделы: дифференциальные уравнения, комплексное и операционное исчисления), «Теоретические основы электротехники» (разделы: расчет переходных процессов в электрических цепях постоянного и переменного тока). Студенту необходимы также знания физических основ работы электротехнических элементов электроприводов, изучаемых в курсах «Электрические машины», «Теория электропривода».

**Компетенции.** В результате изучения курса ТАУ у студента образуется «мостик» между общеобразовательными дисциплинами, изучаемыми до курса ТАУ, и последующими технически практическими. В этой связи, по окончании изучения курса ТАУ студент должен:



- знать математический аппарат для описания статики и динамики элементов и систем; современные методы построения, анализа и синтеза автоматических систем;
- уметь составлять математические модели систем, представлять их в наглядной форме, проводить экспериментальные исследования, оценивать качественные свойства и показатели автоматических систем;
- владеть математическим аппаратом ТАУ, приемами оценки динамических свойств автоматических систем на основе современных компьютерных технологий и стандартных программ.



## 2. СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА ДИСЦИПЛИНЫ

### Тема 1. Введение

Предмет ТАУ. Основные понятия и термины, объект управления и регулирования, регулируемые величины, регуляторы и другие. Этапы развития САУ и их теории. Классификация САУ. Принципы регулирования (построения) САУ, обратные связи.

**Литература:** [1, с. 3–14]; [2, с. 3–25]; [3, с. 5–23].

#### Методические указания

Необходимо усвоить предмет, задачи и возможности ТАУ, общие понятия об автоматическом регулировании и управлении. Усвоить понятие объекта управления и регулирования, его характеристики: регулируемая координата, управляющее и возмущающее воздействия. Проследить этапы развития ТАУ. Изучить принципы регулирования и управления, системы прямого и непрямого регулирования, статическое и астатическое регулирование. Функциональные элементы САУ, функциональные схемы. Освоить понятия прямых и обратных связей, их классификацию, принципы классификации автоматических систем.

#### Вопросы и задания для самоконтроля

1. Дать определение объекта регулирования, регулятора и САУ. Назвать координаты, определяющие состояние объекта регулирования.
2. Регулируемая величина, управляющие и возмущающие воздействия. В чем различие между ними?
3. В чем отличие незамкнутых и замкнутых систем автоматического регулирования?
4. Перечислить основные принципы регулирования, их принципиальное отличие. В чем заключается универсальность принципа регулирования по отклонению?
5. Что такое статические и астатические САУ? В чем особенность функциональной схемы астатической системы?
6. Привести типовую функциональную схему САУ и объяснить назначение основных функциональных элементов?
7. Дать определение систем стабилизации, следящих систем и систем программного регулирования.
8. В чем различие между непрерывными, импульсными и релейными системами?

## Тема 2. Статический режим САУ

Понятие статики. Установившиеся режимы работы статических и астатических САУ. Статические характеристики элементов, их соединений и САУ. Математическое описание статических режимов.

**Рекомендуемая литература:** [1, с. 58–60]; [3, с. 24–32].

### Методические указания

Следует уяснить понятие статического режима работы САУ, какие вопросы решаются при рассмотрении этого режима. Необходимо усвоить определения и параметры, характеризующие статический режим: статические характеристики по управлению и возмущению, коэффициент передачи и усиления, коэффициент усиления разомкнутой системы, ошибка регулирования, статизм. Важным является понятие статических САУ, а также зависимость точности регулирования от коэффициента усиления разомкнутой системы. Необходимо изучить правила и знать зависимости для определения эквивалентного коэффициента передачи типовых соединений звеньев (последовательное, параллельное, охват обратной связью).

### Вопросы и задания для самоконтроля

1. Какой режим работы называется статическим?
2. Что называется коэффициентом усиления разомкнутой системы, статизмом?
3. Дайте определение статического и астатического регулирования.
4. Как зависит ошибка регулирования от коэффициента усиления разомкнутой системы?
5. Как определить эквивалентный коэффициент усиления для последовательного и параллельного соединений звеньев, а также при охвате звена элементом обратной связи?

## Тема 3. Динамический режим САУ

Понятие динамики. Математические уравнения динамических режимов, их составление и решение. Уравнения динамики в отклонениях, безразмерная форма уравнений. Прямое и обратное преобразования Фурье и Лапласа. Составление и решение операторных уравнений. Линеаризация уравнений и приведение операторных уравнений к стандартной форме. Характеристическое уравнение, его определение и смысл. Понятия передаточной функции по управлению и возмущению. Типовые воздействия в САУ. Понятие переходной, весовой и частотной функций и характеристик. Частотные характеристики, их определение и разновидности, построение.

**Рекомендуемая литература:** [1, с. 15–34]; [2, с. 36–71]; [3, с. 32–50].

### Методические указания

Усвоив понятие динамических режимов в САУ и условия их возникновения, следует изучить формы записи уравнений динамики. Особо обратить внимание на операторную форму записи дифференциальных уравнений, особенности и методику их составления. Изучить методы линеаризации, освоить стандартную форму записи операторных уравнений САУ, связывающих изображения регулируемой величины, управляющего и возмущающего воздействия. На основе этой формы записи дать определение характеристического уравнения, передаточных функций по управляющему и возмущающему воздействиям. Затем следует дать определение частотных функций, возможность получения выражений частотных функций по передаточным функциям. Особо обратить внимание на определение логарифмических частотных функций, а также построение частотных характеристик. В результате студент должен уметь свободно получать выражения для АФХ, амплитудной и фазовой частотных характеристик, понимать физическую сущность частотных характеристик, возможность их экспериментального определения.

### Вопросы для самопроверки

1. Дать определение динамического режима САУ, причины возникновения динамических режимов.
2. Запись уравнений динамики в отклонениях, их особенность и необходимость.
3. Привести зависимости для прямого и обратного преобразований Фурье и Лапласа.
4. Дать определение стандартной формы записи операторного уравнения САУ.
5. Что называется характеристическим уравнением, его физический смысл? Как получить выражение для характеристического уравнения?
6. Что называется передаточной функцией по управляющему и возмущающему воздействиям?
7. Назвать и дать определение типовым воздействиям, применяемым при исследовании САУ.
8. Что называется частотной функцией? Какие виды частотных функций применяются в ТАУ?
9. Как получить уравнения частотных функций, как построить частотные характеристики?

#### **Тема 4. Передаточные функции, структурные схемы и частотные характеристики элементов и САУ**

Типовые динамические звенья, принципы их выделения. Передаточные функции и структурные схемы электродвигателя постоянного тока. Структурные схемы, методы их составления. Правила преобразования структурных схем при различных соединениях звеньев. Структурные схемы и передаточные функции одно- и многоконтурных замкнутых САУ. Получение операторного уравнения САУ по ее структурной схеме. Частотные характеристики разомкнутых и замкнутых систем, методы их построения и экспериментального получения.

**Рекомендуемая литература:** [1, с. 25–50]; [2, с. 72–92]; [3, с. 51–94].

#### **Методические указания**

В начале этой темы необходимо изучить типовые динамические звенья, из которых можно построить любую САУ. Эти звенья выделяются по виду дифференциальных уравнений. Число таких элементарных звеньев ограничено: безынерционное, апериодическое, колебательное, дифференцирующее, интегрирующее, консервативное и звено с запаздыванием. Необходимо знать определение этих звеньев, их переходные характеристики, уметь определять и знать выражения передаточных и частотных функций. Далее следует рассмотреть передаточные функции и структурные схемы таких элементов САУ электроприводами как электрические двигатели, электромашинный усилитель, генератор, тахогенератор.

В разделе «Структурные схемы» необходимо вначале усвоить порядок составления структурной схемы, их назначение. Для преобразования сложных многоконтурных схем необходимо изучить правила простейших структурных преобразований: при параллельном, последовательном соединении звеньев, охвате звена обратной связью, переносе звеньев через узел суммирования и точку разветвления. По структурным схемам необходимо уметь составлять выражения для передаточных функций разомкнутой САУ, замкнутой САУ относительно управляющего и возмущающего воздействия.

#### **Вопросы и задания для самоконтроля**

1. Назвать типовые динамические звенья САУ. Какой признак лежит в основе разделения звеньев на типовые?
2. Дать определение типовых звеньев и привести их дифференциальные уравнения.

3. Привести выражения для передаточных функций параллельного и последовательного соединения звеньев и для случая охвата звена обратной связью.
4. Пояснить основные правила преобразования структурных схем.
5. Как получить выражение для передаточных функций разомкнутой и замкнутой систем?

### **Тема 5. Устойчивость линеаризованных САУ**

Понятие и смысл устойчивости САУ. Методы определения устойчивости. Получение характеристического уравнения. Условие устойчивости линейной САУ, Достаточные и необходимые условия устойчивости. Алгебраические и частотные критерии устойчивости. Понятие о  $D$ -разбиении пространства коэффициентов характеристического уравнения. Запас устойчивости. Критический коэффициент усиления. Структурная устойчивость САУ.

**Рекомендуемая литература:** [1, с. 61–74]; [2, с. 142–169]; [3, с. 95–144].

#### **Методические указания**

Данная тема является наиболее важной в курсе ТАУ. Поэтому студенты должны уделить этой теме наибольшее внимание; осмыслив задачу темы, общие методы решения вопросов устойчивости.

Прежде всего необходимо усвоить физическую сущность устойчивости и математическое условие, заключающееся в том, что все корни характеристического уравнения замкнутой САУ должны иметь отрицательную действительную часть. При этом надо усвоить понятие характеристического уравнения, способы получения его и быть убежденным, что начальный разговор об устойчивости всегда должен ассоциироваться с понятием характеристического уравнения. Так как решение (т.е. нахождение корней) характеристических уравнений выше второго порядка довольно затруднительно, то для оценки устойчивости САУ часто применяют различные критерии. При изучении критериев необходимо четко разграничивать назначение, правило пользования и области использования каждого из критериев. Требуется обстоятельное физическое усвоение понятий, включаемых в критерий.

Необходимо подробно изучить алгебраический критерий Гурвица и ознакомиться со спецификой применения критерия Рауса. Изучение частотных критериев начинается с усвоения принципа аргумента, его графической иллюстрации. На основе принципа аргумента доказываются критерии Найквиста и Михайлова. При этом необходимо освоить применение критериев на практике, четко представляя физическую сущ-

ность всех используемых величин, изучить особенности и области применения критериев. Особо уделить внимание логарифмическому критерию Найквиста. При изучении метода D-разбиения уяснить назначение, возможности метода, правило получения выражения для кривой D-разбиения и построения ее. Необходимо уметь определять запасы устойчивости по модулю и фазе.

### Вопросы и задания для самоконтроля

1. Дать определение понятий устойчивости и неустойчивости САУ.
2. Теоремы Ляпунова об устойчивости линеаризованных САУ и связи устойчивости с расположением корней характеристического уравнения на комплексной плоскости корней. Понятие левых и правых корней.
3. Методы оценки устойчивости САУ.
4. Необходимые и достаточные признаки устойчивости.
5. Методика получения характеристического уравнения для замкнутых и разомкнутых САУ.
6. Назначение критерия Гурвица. Правило составления главного и минорных определителей.
7. Что определяет принцип аргумента?
8. Правило пользования критериями Найквиста и Михайлова. Различия этих критериев. Какие уравнения лежат в основе этих критериев?
9. Как определить устойчивость по ЛАЧХ и ЛФЧХ разомкнутой системы?
10. Что такое запасы устойчивости и как они определяются?
11. Назначение метода D-разбиения. Как строится кривая D-разбиения, правило штриховки кривой?
12. Понятие о структурной устойчивости САУ.
13. Что понимается под критическим коэффициентом усиления, на что он оказывает существенное влияние?

### Тема 6. Методы коррекции линеаризованных САУ

Методы коррекции САУ. Влияние отрицательных обратных связей на работу САУ. Введение производных и интегралов в закон управления. Корректирующие устройства на постоянном и переменном токе. Место включения корректирующих устройств.

**Рекомендуемая литература:** [1, с. 90–91]; [2, с. 247–260]; [3, с. 144–164].

### Методические указания

Для изменения динамических свойств САУ используются различные методы коррекции: введение различных по характеру обратных связей, введение производных и интегралов в закон управления. Необходимо уяснить, на какие показатели и каким образом влияют различные методы коррекции.

Для обеспечения устойчивости САУ и получения необходимого качества процесса регулирования используется ряд методов и устройств. Студенту необходимо уяснить методы и средства коррекции САУ. Обратит внимание на последовательные и параллельные корректирующие устройства, место включения их в САУ.

### Вопросы и задания для самопроверки

1. Назначение корректирующих устройств?
2. Назвать метод коррекции САУ.
3. Как влияют обратные связи на параметры и устойчивость типовых звеньев САУ?
4. Как влияет на динамические свойства звеньев САУ введение производных и интеграла?
5. Каковы достоинства и недостатки параллельных и последовательных корректирующих устройств?

### Тема 7. Оценка качества процесса управления

Требования к качеству процесса управления. Характер затухания переходного процесса. Максимальное отклонение управляемой переменной. Перерегулирование. Время переходного процесса, точность управления. Ошибки системы. Интегральные оценки. Основы частотного метода анализа качества процесса управления. Анализ качества переходного процесса по частотным характеристикам. Исследование САУ в пространстве состояний. Основы метода, область применения. Исходные уравнения и их представления в векторноматричной форме.

**Рекомендуемая литература:** [1, с. 75–89]; [2, с. 181–193]; [3, с. 165–210].

### Методические указания

В начале темы изучаются типовые внешние воздействия в САУ, вызывающие наличие переходных процессов. Затем необходимо усвоить основные показатели качества процессов управления, уметь определять их по графику переходного процесса. Необходимо знать и требова-

ния к качеству процессов управления. Далее изучаются косвенные методы оценки качественных показателей: интегральные, частотные. Последние требуют наибольшего внимания. Здесь следует изучить свойства вещественночастотных характеристик, их связь с переходными характеристиками.

### **Вопросы и задания для самопроверки**

1. Назвать типовые воздействия в САУ, их использование.
2. Дать определение качественных показателей переходных процессов, охарактеризовать требования к ним.
3. Как используются интегральные оценки для определения качественных показателей в САУ?
4. Перечислить свойства ВЧХ и соответствующих им переходных процессов.
5. Как оценить качественные показатели САУ по ЛЧХ?
6. Что такое пространство состояний?
7. Поясните смысл векторноматричного уравнения состояния.

### **Тема 8. Обеспечение заданного качества процесса управления**

Повышение точности управления. Обеспечение заданного качества переходного процесса. Синтез корректирующих устройств при помощи ЛАХ. Пример синтеза. Принципы подчиненного регулирования. Понятие о типовых настройках регуляторов, модульном и симметричном оптимумах. Использование последовательных фильтров.

**Рекомендуемая литература:** [1, с. 90–109]; [2, с. 247–260]; [3, с. 211–250].

### **Методические указания**

В этой теме необходимо усвоить методы повышения точности управления и обеспечения заданного качества переходного процесса. Более подробно и обстоятельно следует изучить метод синтеза последовательных и параллельных корректирующих устройств при помощи ЛАЧХ, уметь определить параметры корректирующих устройств. Обратит внимание на методику построения желаемой ЛАЧХ. Затем следует рассмотреть один-два примера по синтезу корректирующих устройств, используя пособие [5]. Следует внимательно изучить принцип подчиненного регулирования, наиболее широко используемый в современных автоматизированных электроприводах. Рекомендуется книга «Проектирование электроприводов: Справочник. – Свердловск, 1980», с. 47–60.

### Вопросы для самопроверки

1. Какими средствами достигается обеспечение заданного качества переходного процесса?
2. Как изменяются свойства САУ при введении дифференцирующих и интегрирующих звеньев?
3. Как изменяются динамические свойства звеньев при их охвате:
  - а) жесткой обратной связью;
  - б) гибкой обратной связью?
4. Как построить желаемую ЛАЧХ?
5. Пояснить методику синтеза последовательного и параллельного корректирующих звеньев на основе ЛАЧХ.
6. Как рассчитываются параметры корректирующего звена?

### Тема 9. Линейные импульсные САУ

Понятие дискретных систем, их разновидности. Виды модуляции сигналов. Элементы и узлы импульсных систем. Расчетная структурная схема. Дискретное преобразование Лапласа. Устойчивость. Оценка качества импульсных систем.

**Рекомендуемая литература:** [1, с. 122–151]; [3, с. 373–408].

### Методические указания

Следует усвоить отличительные признаки дискретных систем, виды квантования сигналов (по уровню, по времени и др.). Обратить внимание на смысл расчетной структурной схемы, ее обязательные элементы: идеальный импульсный элемент, формирующий элемент, непрерывная часть. При математическом описании импульсных систем обратить внимание: на понятия решетчатой функции, дискретного преобразования Лапласа,  $Z$ -преобразования; на описание типовой импульсной цепи и замкнутой импульсной системы; на общее условие устойчивости и критерии устойчивости.

Более подробно импульсные системы описаны в специальной литературе (работы Цыпкина Я.З., Зайцева Г.Ф. и др.).

### Вопросы для самопроверки

1. Назовите особенности дискретных систем и их основные функциональные элементы.
2. Изобразите расчетную структурную схему импульсной системы и объясните смысл ее составляющих.
3. Поясните понятие и основную формулу  $Z$ -преобразования.
4. Дайте определение решетчатой функции и способ ее вычисления.

5. Что является в импульсной системе аналогом производной и интеграла?
6. Как получить передаточную функцию разомкнутой импульсной системы?
7. Сформулируйте необходимые условия устойчивости импульсной системы.

### **Тема 10. Основы теории нелинейных автоматических систем**

Понятие и определение нелинейных систем. Отличительные особенности нелинейных систем. Характеристика типовых нелинейностей. Методы линеаризации нелинейностей. Понятие устойчивости в «малом» и «большом». Преобразование структурных схем нелинейных систем к типовой схеме. Методы исследования нелинейных систем. Метод фазовой плоскости и его основные понятия: фазовые траектории, фазовый портрет. Способы построения фазовых траекторий. Исследование нелинейных систем с помощью метода фазовой плоскости. Построение переходного процесса по фазовой траектории.

Метод гармонической линеаризации, основы и особенности применения для расчета нелинейных систем. Уравнения и коэффициенты гармонической линеаризации. Метод Е.П. Попова. Метод Л.С. Гольдфарба. Исследование абсолютной устойчивости методом В.М. Попова. Особенности и характеристика релейных САУ. Применение моделирования и вычислительных машин для исследования нелинейных систем.

**Рекомендуемая литература:** [1, с. 110–121]; [3, с. 271–327].

#### **Методические указания**

Студент должен познакомиться с основными свойствами и особенностями нелинейных систем, классификацией нелинейностей. Необходимо уяснить особенности исследования устойчивости нелинейных систем в сравнении с линейными системами автоматического управления.

При изучении метода фазовой плоскости необходимо, прежде всего, уяснить основы метода, его основные положения и понятия. Усвоить правило нахождения уравнения фазовой траектории по исходным уравнениям нелинейной системы и уметь строить фазовые траектории аналитически и по методу изоклин. Следует проанализировать типовые фазовые траектории, определяя по ним характер движения в системе. Следует рассмотреть пример использования метода применительно к конкретной нелинейной системе.



При изучении метода гармонической линеаризации следует уяснить идею метода, особенности и ограничения для применения этого метода. Необходимо усвоить идею допущения о гармоническом характере автоколебаний и идею низкочастотного фильтра, каковым должна быть линейная часть нелинейной системы. Необходимо усвоить вид гармонически линеаризованного уравнения, уметь определять коэффициенты гармонической линеаризации.

В методах Е.П. Попова, Л.С. Гольдфарба и В.М. Попова следует усвоить задачи и возможности метода, правила пользования ими.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Назвать типы и характер нелинейности, делающих систему нелинейной.
2. Особенности нелинейных систем в сравнении с линейными.
3. Суть и особенности метода фазовой плоскости.
4. Как получить уравнение фазовой траектории и охарактеризовать способы построения фазового портрета?
5. Пояснить на примере правило преобразования структурных схем нелинейных систем.
6. Пояснить на конкретном примере применение метода фазовой плоскости и сделать необходимые выводы.
7. Пояснить сущность метода гармонической линеаризации и перечислить основные допущения к применению метода.
8. Привести уравнение гармонической линеаризации и объяснить методику определения коэффициентов гармонической линеаризации.
9. Объяснить область применения и методику использования метода Е.П. Попова, Л.С. Гольдфарба, В.М. Попова.



### 3. СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Перечень лабораторных работ

1. Исследование типовых звеньев на ЭЦВМ (2 часа).
2. Исследование устойчивости замкнутых систем (2 часа).
3. Качество стационарных САУ (1 час).

**Литература:** [6]

#### Тематика практических занятий

Тема 1. Статические характеристики и коэффициенты передачи элементов и САУ (1 час).

Тема 2. Передаточные функции элементов и САУ (1 час).

Тема 3. Структурные преобразования в расчете САУ (1 час).

Тема 4. Частотные характеристики элементов и САУ (1 час).

Тема 5. Устойчивость линейных САУ (1 час).

**Рекомендуемая литература:** [1], [3], [5], [7].

#### 3.2. Общие методические указания

Содержание темы практических и лабораторных занятий определяет преподаватель во время сессии.

Количество лабораторных работ, последовательность их выполнения задается преподавателем. Студент должен проделать лабораторную работу; далее, результаты необходимо предоставить преподавателю в распечатанном виде. Оформление работы должно соответствовать требованиям, которые представлены в методических указаниях к лабораторной работе. Все лабораторные работы студент должен проделать во время сессии. Если лабораторные работы не сделаны, то студент не допускается до сдачи экзамена.

## 4. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ДОМАШНИЕ ЗАДАНИЯ

### 4.1. Общие методические указания

В соответствии с учебным графиком для студентов направления 140400 «Электроэнергетика и электротехника» предусмотрено выполнение одного индивидуального домашнего задания (ИДЗ). ИДЗ включает решение четырех задач и конкретные ответы на предложенные теоретические вопросы (контрольные).

Выполнение индивидуальных домашних работ необходимо для закрепления теоретических знаний и приобретения практических навыков расчетных и графических работ.

При ответах на теоретические вопросы следует обратить внимание на осмысление (а не только на запоминание!) и усвоение понятий, определений, методику вывода уравнений и их последующее осмысление от конечного результата к начальной постановке вопроса.

При оформлении индивидуального домашнего задания необходимо соблюдать следующие требования.

1. Индивидуальное задание должно иметь титульный лист, оформленный в соответствии со стандартами ТПУ [8]. На титульном листе указываются номер индивидуального задания, номер варианта, название дисциплины; фамилия, имя, отчество студента; номер группы. **Образец оформления и шаблон титульного листа** размещен на сайте ИДО в разделе СТУДЕНТУ → ДОКУМЕНТЫ (<http://portal.tpu.ru/ido-tpu>).

2. Каждое индивидуальное задание оформляется отдельно. Студенты, изучающие дисциплину **по классической заочной форме**, оформляют индивидуальные задания в виде сброшюрованных листов формата А4. Студенты, изучающие дисциплину **с применением дистанционных технологий**, оформляют индивидуальные задания в отдельных файлах.

3. Текст индивидуального задания набирается в текстовом процессоре Microsoft Word. Шрифт Times New Roman, размер 12–14 pt, для набора формул рекомендуется использовать редактор формул Microsoft Equation или MathType.

4. Решения задач следует располагать в той же последовательности, что и задания.

5. Каждая задача должна начинаться с условия задачи, ниже краткая запись задачи, если необходимо – рисунок, с условными обозначениями, которые в дальнейшем будут использованы при решении задач.

6. Решение должно быть подробным, с включением промежуточных расчётов и указанием использованных формул.

7. Страницы задания должны иметь сквозную нумерацию.

8. В задание включается список использованной литературы.

Если работа не соответствует требованиям, студент получает оценку «не зачтено». В этом случае работа должна быть исправлена и повторно предоставлена преподавателю. При доработке в текст необходимо включить дополнительные вопросы, полученные после проверки работы преподавателем, и ответы на эти вопросы.

Студент, не получивший положительной аттестации по индивидуальному заданию, не допускается к сдаче экзамена по данной дисциплине.

## 4.2 Варианты индивидуальных заданий и методические указания

### Задача 1

Составить дифференциальное уравнение в стандартном виде для цепи постоянного тока. Номер варианта задачи 1 определяется по номеру рис. 1,2,3,4.

Таблица 1

Номер варианта задачи 1

	Рис. 1	Рис. 2	Рис. 3	Рис. 4
Последняя цифра номера зачетной книжки студента	0, 1, 6	2, 7	3, 8	4, 9, 5

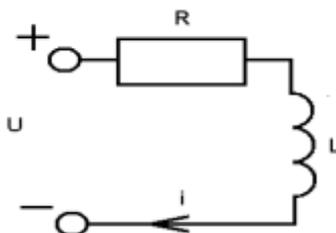
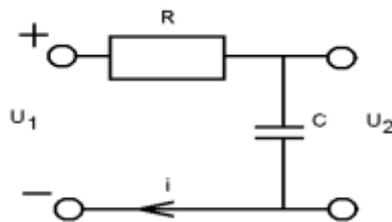
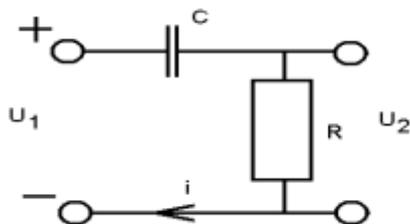
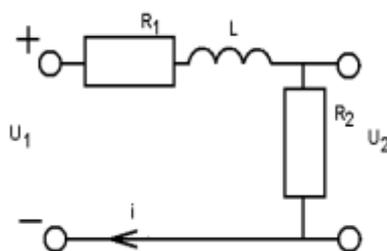


Рис. 1.  $U$ -входная переменная;  $i$ -выходная переменная

Рис. 2.  $U_1$ -входная переменная;  $U_2$ -выходная переменнаяРис. 3.  $U_1$ -входная переменная;  $U_2$ -выходная переменнаяРис. 4.  $U_1$ -входная переменная;  $U_2$ -выходная переменная

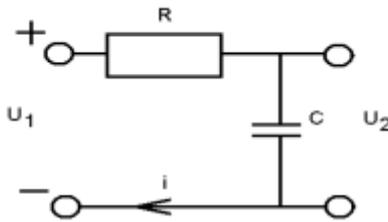
### Методические указания

По рисунку схемы на основе законов электротехники необходимо составить исходное уравнение переходного процесса в цепи постоянного тока. При этом  $U_L = L \frac{di}{dt}$  и  $U_C = \frac{1}{C} \int idt$ . Полученное исходное уравнение необходимо представить в стандартном виде: все слагаемые с выходной переменной перенести в левую часть уравнения, а слагаемые с входной переменной – в правую часть. Коэффициент при выходной координате (левая часть уравнения) необходимо сделать равным «1», разделив обе части уравнения на множитель, стоящий при выходной координате. После этого ввести обозначения для постоянных времени ( $T=RC$  или  $T=L/R$ ) и коэффициента передачи. Пример стандартной записи дифференциального уравнения представлен в задаче 2, где в исходных уравнениях  $Y$  и  $X$ , соответственно, выходная и входная переменные, а коэффициент при  $Y$  равен «1».

**Задача 2**

По заданному дифференциальному уравнению выполнить:

1. Записать операторное уравнение в стандартном виде:



2. Получить выражение для передаточной функции.

3. Записать уравнение для ЛАЧХ и ЛФЧХ и построить их.

Номер исходного уравнения определяется по последней цифре номера зачетной книжки.

1.  $T_2 \frac{dy}{dx} + y = T_1 \frac{dx}{dt}$ ; где  $T_1 = 0.05$ ,  $T_2 = 0.1$ .

2.  $T \frac{dy}{dt} + y = x$ ; где  $T = 0.2$ .

3.  $T \frac{dy}{dt} + y = k \int x dt$ ; где  $T = 0.5$ ,  $k = 50$ .

4.  $T \frac{dy}{dt} + y = kx$ ; где  $T = 0.05$ ,  $k = 20$ .

5.  $\frac{dy}{dt} = k(x + T \frac{dx}{dt})$ ; где  $T = 0.01$ ,  $k = 10$ .

6.  $T_2 \frac{dy}{dt} + y = k(x + T_1 \frac{dx}{dt})$ ; где  $T_1 = 0.05$ ,  $T_2 = 0.2$ ,  $k = 40$ .

7.  $T_2 \frac{dy}{dt} + y = k(x + T_1 \frac{dx}{dt})$ ; где  $T_1 = 0.2$ ,  $T_2 = 0.05$ ,  $k = 40$ .

8.  $y + \int y dt = kx$ ; где  $k = 5$ .

9.  $T \frac{dy}{dt} + y = k \frac{dx}{dt}$ ; где  $T = 0.02$ ,  $k = 10$ .

0.  $T \frac{dy}{dt} + y = k \int x dt$ ; где  $T = 0.2$ ,  $k = 10$ .

### Методические указания

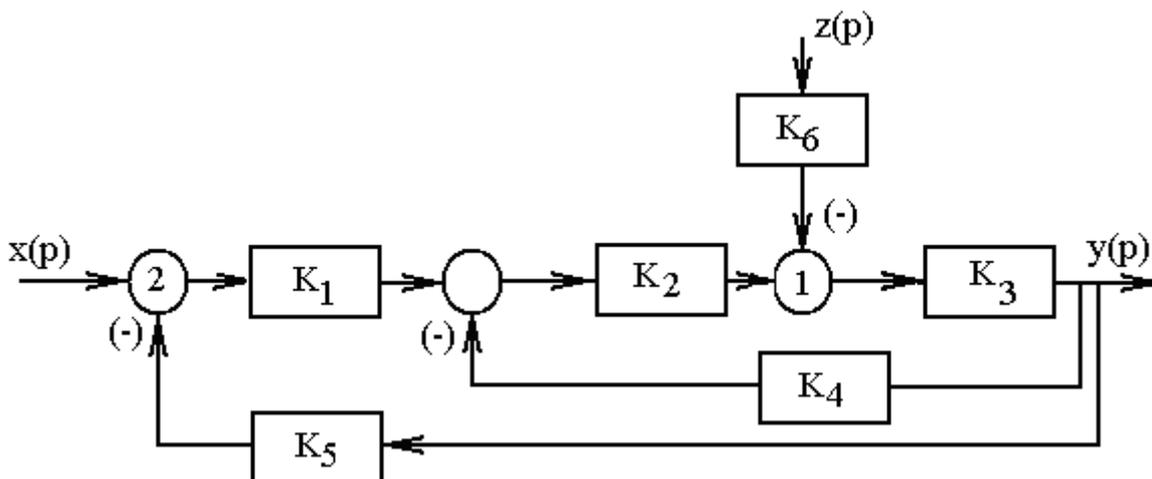
1. Операторное уравнение получается из дифференциального с помощью прямого преобразования Лапласа. Следует помнить простейшие формулы преобразования Лапласа для переменных функций, а также для производных и интеграла от переменных функций. На основе этих простейших формул каждое слагаемое дифференциального уравнения преобразуют в операторную форму.

2. Передаточная функция определяется из операторного уравнения на основе понятия о передаточной функции. Полученное выражение для передаточной функции следует обязательно представить в стандартном виде в форме правильной дроби. Необходимо выделить коэффициент передачи и характеристическое уравнение. Оцените, какое типовое звено соответствует полученной передаточной функции.

3. Для построения ЛЧХ следует записать их уравнения. Затем на основе правил построения ЛЧХ типовых динамических звеньев рассчитать характерные точки и выполнить приближенное построение ЛАЧХ и ЛФЧХ. Обратить внимание на понятие и вычисление частот сопряжения, а также знака и величины наклона в дБ/дек отдельных отрезков ЛАЧХ. При этом составляющие числителя передаточной функции имеют положительный знак слагаемых ЛЧХ, а составляющие знаменателя передаточной функции – отрицательные. Следует предварительно усвоить порядок построения ЛЧХ типовых динамических звеньев.

### Задача 3

Для заданной структурной схемы определить передаточные функции замкнутой системы по управлению  $X(p)$  (для  $Z(p) = 0$ ) и по возмущению  $Z(p)$  (когда  $X(p) = 0$ ) и передаточную функцию разомкнутой системы.



### Методические указания

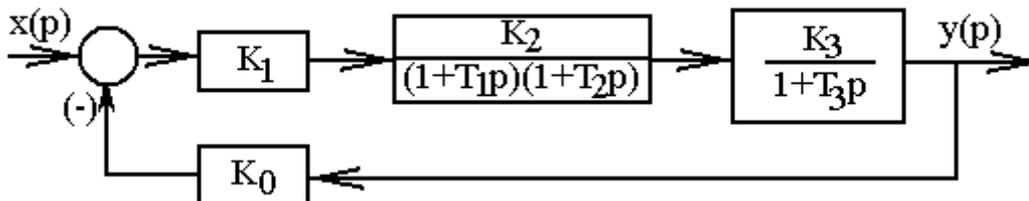
При определении передаточной функции замкнутой системы по управлению  $W_x(p) = y(p)/x(p)$  возмущение  $Z(p)$  принимают равным нулю и тогда сумматор (1) в исходной схеме не требуется. И для замкнутого внутреннего контура с сумматором (1) возможна замена эквивалентным звеном.

При определении передаточной функции замкнутой системы по возмущению  $W_z(p) = y(p)/z(p)$  управляющее воздействие  $X(p)$  принимается равным нулю и исходная схема преобразуется в схему, когда входом является  $Z(p)$ , выходом  $Y(p)$ , а сумматор (2) в новой схеме не требуется.

При определении передаточной функции разомкнутой системы принимают  $X(p)=0$  и  $Z(p) = 0$ , после чего элементы главного замкнутого контура соединяют последовательно. Следует для наглядности изобразить структурную схему разомкнутой системы и вычислить ее передаточную функцию.

### Задача 4

Оценить устойчивость замкнутой системы по критерию Михайлова.



Значения параметров определяются из табл. 2. Номер варианта определяется последней цифрой номера зачетной книжки студента.

Таблица 2

Значения параметров физических величин для решения задачи 4

Вариант	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_0$
1	0,05	0,4	0,8	100	8	2	0,02
2	0,04	0,5	1	80	10	2	0,04
3	0,03	0,2	0,5	60	5	4	0,05
4	0,02	0,3	0,6	50	6	4	0,1
5	0,01	0,1	0,5	40	10	2	0,2

Окончание табл. 2

Вариант	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_0$
6	0,05	0,2	0,8	100	8	2	0,01
7	0,04	0,4	1	50	20	4	0,05
8	0,03	0,3	0,5	40	15	2	0,1
9	0,02	0,3	0,8	20	10	4	0,2
0	0,01	0,2	0,6	50	5	2	0,06

### Методические указания

Для оценки устойчивости по критерию Михайлова необходимо записать характеристическое уравнение замкнутой системы из знаменателя передаточной функции замкнутой системы, записанной в виде правильной дроби (как бы в два этажа). Либо характеристическое уравнение находят из условия  $1+K_{раз}(p)$ , приведя его к правильной дроби. Числитель этой дроби будет характеристическим полиномом, в котором делают замену  $p=j\omega$  и выделяют вещественную  $P(\omega)$  и мнимую части  $jQ(\omega)$ . Затем в комплексных осях координат  $P(\omega)$ ,  $Q(\omega)$  строят кривую Михайлова, по виду которой судят об устойчивости системы.

### Контрольные вопросы

Письменно ответить на контрольные вопросы, номер варианта определяется последней цифрой номера зачетной книжки студента.

Номер варианта вопросов определяется табл. 3.

Таблица 3

### Контрольные вопросы

Вариант	Номера вопросов
1	1, 11, 21, 31, 41, 51, 61, 71,
2	2, 12, 22, 32, 42, 52, 62, 72,
3	3, 13, 23, 33, 43, 53, 63, 73,
4	4, 14, 24, 34, 44, 54, 64, 74,
5	5, 15, 25, 35, 45, 55, 65, 75,
6	6, 16, 26, 36, 46, 56, 66, 76,
7	7, 17, 27, 37, 47, 57, 67, 77,
8	8, 18, 28, 38, 48, 58, 68, 78,
9	9, 19, 29, 39, 49, 59, 69, 79,
0	10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80,



1. Поясните принцип регулирования по отклонению.
2. Перечислить основные функциональные элементы замкнутых систем и их назначение.
3. Поясните назначение и принцип регулирования по возмущению.
4. Понятие статического и динамического режимов работы, их графики.
5. Понятие замкнутых и разомкнутых систем, их функциональные схемы.
6. Дать определение статических характеристик по управлению и привести их количественные показатели.
7. Дать определение статических характеристик по возмущению и привести их количественные показатели.
8. Как вычислить коэффициент усиления разомкнутой системы?
9. Назвать типовые соединения звеньев и привести формулы для вычисления их эквивалентного коэффициента усиления.
10. Привести доказательство формулы для вычисления общего коэффициента усиления двух последовательно соединенных звеньев.
11. Привести доказательство формулы для вычисления общего коэффициента усиления двух параллельно соединенных звеньев.
12. Привести доказательство формулы для вычисления общего коэффициента усиления при охвате звена обратной связью.
13. Понятие динамического режима работы системы. Причины появления динамического режима.
14. Понятие прямого преобразования Лапласа. Основные формулы преобразования.
15. Что такое операторное уравнение, как оно получается и его стандартная форма записи.
16. Что можно вычислить по операторному уравнению?
17. Что называется передаточной функцией? Разновидности передаточных функций.
18. Что такое характеристическое уравнение? Что оно определяет? Как найти его из операторного уравнения?
19. Перечислить возможные способы вычисления характеристического уравнения замкнутой системы.
20. Общее понятие частотной функции. Как называется изначальная частотная функция?
21. Какая форма входного сигнала используется при определении частотной функции?
22. Дать определение и пояснить физический смысл амплитудной и фазовой частотной функций.





23. Понятие логарифмических частотных функций, их разновидности и оси координат. Формулы для вычисления этих функций.
24. Перечислить все частотные функции и формулы для их вычисления.
25. Изобразить комплексное число  $a+jb$  и вычислить его модуль (амплитуду) и фазу.
26. Перечислить типовые внешние воздействия и дать им характеристику.
27. Что такое переходная характеристика, как она получается и что показывает?
28. Дать определение типовым звеньям. По каким признакам звенья делятся на типовые?
29. Перечислить все типовые звенья и привести их дифференциальные уравнения.
30. Записать передаточную функцию апериодического звена. Вычислить и пояснить построение его логарифмических частотных характеристик.
31. Записать передаточную функцию интегрирующего звена. Вычислить и пояснить построение его логарифмических частотных характеристик.
32. Записать передаточную функцию дифференцирующего звена. Вычислить и пояснить построение его логарифмических частотных характеристик.
33. Записать передаточную функцию колебательного звена. Вычислить и пояснить построение его логарифмических частотных характеристик.
34. Привести вид и пояснить особенности переходных характеристик всех типовых динамических звеньев.
35. Понятие структурной схемы, ее особенности и отличие от функциональной схемы.
36. Перечислить типовые преобразования в структурных схемах.
37. Как вычислить передаточную функцию при охвате звена обратной связью?
38. Правила переноса звена через сумматор и точку разветвления.
39. Дайте физическую трактовку понятия «устойчивая система».
40. Каково общее математическое условие устойчивости систем?
41. Понятие левых и правых корней характеристического уравнения.
42. Необходимое и достаточное условия устойчивости.
43. Формулировка критерия Гурвица. Правило составления определителей Гурвица.





44. Какое уравнение используется в критерии Гурвица и как его получить?
45. Назначение и методика оценки устойчивости замкнутых систем по критерию Найквиста.
46. Как называется кривая, используемая при оценке устойчивости по Найквисту? Как получить ее уравнение?
47. Какие запасы устойчивости применяются в критерии Найквиста?
48. Назовите характеристики, по которым оценивается устойчивость в критерии Найквиста.
49. Какова последовательность оценки устойчивости замкнутых систем по критерию Найквиста на основе АФХ разомкнутой системы?
50. Каковы условия устойчивости, неустойчивости и границы устойчивости для замкнутых систем по критерию Найквиста?
51. Дать определение запасов устойчивости в критерии Найквиста и их оценка.
52. Какова последовательность оценки устойчивости замкнутых систем по логарифмическим частотным характеристикам разомкнутой системы?
53. Условия устойчивости, неустойчивости и границы устойчивости при использовании логарифмических частотных характеристик.
54. Запасы устойчивости и их вычисление при оценке устойчивости по логарифмическим частотным характеристикам.
55. Методика оценки устойчивости замкнутой системы по критерию Михайлова.
56. Какие логарифмические частотные характеристики и для какого состояния системы используются для оценки устойчивости замкнутых систем по критерию Найквиста?
57. Какая характеристика используется в критерии Михайлова и как получить ее уравнение?
58. Каковы условия устойчивости, неустойчивости и границы устойчивости в критерии Михайлова?
59. Изобразить годограф Михайлова для устойчивой системы третьего порядка и дать определение устойчивости.
60. Что понимается под критическим коэффициентом усиления и что он определяет в замкнутой системе?
61. Назначение метода D-разбиения по одному параметру. Какое уравнение необходимо иметь для этого?
62. Необходимость штриховки кривой D-разбиения и правило ее нанесения.
63. По какой кривой оцениваются прямые показатели качества замкнутых автоматических систем?





64. Перечислите основные показатели качества замкнутых систем и требования к ним.
65. Как вычислить перерегулирование и время регулирования по кривой переходного процесса?
66. Назначение и понятие коррекции.
67. Назовите и поясните методы коррекции. Виды корректирующих устройств.
68. Изобразите структурные схемы с последовательной и параллельной коррекцией.
69. На какие вопросы отвечает задача синтеза?
70. Какие ЛАЧХ необходимо иметь для синтеза последовательных корректирующих устройств. Методика синтеза.
71. Понятие импульсной системы. Классификация импульсных элементов и систем.
72. Поясните основные способы импульсной модуляции.
73. Понятие нелинейной системы. Основные виды нелинейностей.
74. Назначение и основные методы линеаризации нелинейностей.
75. Основы гармонической линеаризации нелинейного элемента и ее формула.
76. Понятие расчетной структурной схемы нелинейной системы. Принцип ее составления.
77. Понятие решетчатых функций, вычисление их разностей.
78. Основы и особенности метода фазовой плоскости.
79. Уравнение и оси координат фазовой траектории.
80. Свойства фазовых траекторий, их связь с кривой переходного процесса и устойчивостью.
81. Основы метода гармонической линеаризации, особенности и условия применения.
82. Назначение и основы метода Е.П.Попова.
83. Назначение и основы метода Л.С.Гольдфарба.



## 5. ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ КОНТРОЛЬ

После Завершения изучения курса ТАУ студенты сдают экзамен. К экзамену допускаются только те студенты, у которых зачтены индивидуальные домашние задания и лабораторные работы.

Экзаменационный билет включает задачу и два теоретических вопроса. В начале экзамена студент решает задачу и после правильного ее решения приступает к ответам на теоретические вопросы. При определении результата экзамена учитываются результаты выполненного индивидуального задания, содержание которого предопределяет вопросы экзаменационного билета, составленных из перечня контрольных вопросов ИДЗ.

### 5.1. Вопросы для подготовки к экзамену

Вопросами для подготовки к экзамену являются Контрольные вопросы, приведённые в п. 4.3. данных методических указаний.

### 5.2. Образец экзаменационного билета для студентов, изучающих дисциплину

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт дистанционного образования

**БИЛЕТ № 1**

по дисциплине «Теория автоматического управления»

1. Принцип регулирования по отклонению: назначение, построение, принцип действия.
2. Критерий Михайлова: назначение, исходное уравнение, методика использования.
3. Для  $W(p)=K/(p*(1+Tp))$  записать выражения для ЛАЧХ и ЛФЧХ.

Зав. кафедрой, канд. техн. наук; доц. \_\_\_\_\_ Ю.Н. Дементьев



## **6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **6.1. Литература обязательная**

1. Зайцев А.П. Теория автоматического управления: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2005. – 155 с.
2. Теория автоматического управления / Под ред. Воронова А.А. Ч. 1. М.: Высшая школа, 1986.– 367 с.
3. Куропаткин П.В. Теория автоматического управления. – М.: Высшая школа, 1973. – 528 с.

### **6.2. Литература дополнительная**

4. Макаров И.М., Менский Б.М. Линейные автоматические системы. (Элементы теории, методы расчета, справочный материал). – М.: Машиностроение, 1982. – 464 с.
5. Расчет автоматических систем / Под ред. А.В. Фатеева. – М.: Высшая школа, 1973.
6. Зайцев А.П., Митаенко А.Д., Образцов К.В. Теория автоматического управления: Лабораторный практикум. Ч. 1.2. – Томск, Изд. ТПУ, 2011. – 147 с.
7. Митаенко А.Д., Зайцев А.П. Теория автоматического управления. Методические указания к практическим занятиям. – Томск, Изд. ТПУ, 2001. – 40 с.
8. СТО ТПУ 2.5.01–2006. Система образовательных стандартов. Работы выпускные, квалификационные, проекты и работы курсовые. Структура и правила оформления / ТПУ [Электронный ресурс] – Томск, 2006. – Режим доступа <http://standard.tpu.ru/standart.html>, свободный.





Учебное издание

## ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Методические указания и индивидуальные домашние задания.

*Составитель*  
**Митаенко Анатолий Дмитриевич**

*Рецензент*  
*кандидат технических наук,*  
*доцент кафедры ЭПЭО*  
*А.А. Шилин*

Компьютерная верстка М.А. Красильникова

Подписано к печати    Формат 60х84/16. Бумага «Снегурочка».  
Печать XEROX. Усл.печ.л.    Уч.-изд.л.  
Заказ    . Тираж    экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Система менеджмента качества  
Издательства Томского политехнического университета сертифицирована  
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008



**ИЗДАТЕЛЬСТВО**  **ТПУ.** 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30  
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, [www.tpu.ru](http://www.tpu.ru)

