

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники

Лобода Ю.О.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ

Методические указания к практическим работам и организации самостоятельной работы для
студентов технических специальностей

Томск
2023

УДК 006.89

ББК 78.373.3

Л 70

Рецензент:

Антипин М.Е., доцент кафедры управления инновациями ТУСУР, кан. физ. мат. наук

Лобода, Юлия Олеговна

Л 70

Современные проблемы теории управления: методические указания к практическим работам и организации самостоятельной работы / Ю.О.Лобода – Томск : Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2023. – 18 с.

Настоящие методические указания для студентов составлены с учетом требований федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (ФГОС ВО). Методические указания содержат рекомендации к проведению практических занятий и самостоятельной работе и предназначены для студентов технических специальностей.

Одобрено на заседании каф. управления инновациями,
протокол № 7 от 31.01.2022

УДК 006.89

ББК 78.373.3

© Лобода Ю.О., 2023

**© Томск. гос. ун-т систем упр.
и радиоэлектроники, 2023**

Оглавление

Введение.....	4
1. Методические указания к проведению практических работ	5
2 Методические указания для организации самостоятельной работы	14
Основная и дополнительная литература	17

Введение

Методические указания к практическим работам и организации самостоятельной работы посвящены реализации учебно-методической поддержке дисциплин «Современные проблемы теории управления» и «Основы управления техническими системами». Данное пособие содержит задания для выполнения практических и самостоятельных работ позволяющие сформировать практические и теоретические навыки по построению и работе с системами автоматического управления.

1. Методические указания к проведению практических работ

1.1. Общие методические указания к практическому занятию

Практическое занятие – это форма систематических учебных занятий, с помощью которых студенты изучают тот или иной раздел определенной учебной дисциплины, входящей в состав учебного плана. Для того чтобы практические занятия приносили максимальную пользу, необходимо при подготовке к практическим занятиям использовать материал лекций, который должен закрепляться на практических занятиях как в результате обсуждения и анализа лекционного материала, так и с помощью решения проблемных ситуаций и задач. При подготовке к практическим занятиям следует использовать основную литературу из представленного списка, а также руководствоваться данными указаниями и рекомендациями. Рекомендуется следующая схема подготовки к практическому занятию: - открыть методические указания по практическим работам к данной дисциплине - ознакомиться с целью практического занятия - просмотреть необходимый теоретический материал из методических указаний - просмотреть материал из рекомендуемых источников по данной теме практического занятия - ознакомиться с вариантами заданий для данного практического занятия.

Примерные темы, выносимые на рассмотрение на практических занятиях:

1. Оптимальное линейное управление.
2. Дискретный вариант уравнений Беллмана.
3. Учет ограничений. Условия трансверсальности.
4. Обобщённая задача оптимального управления.
5. Структурная адаптация.

Проектирование систем управления в современных условиях стало очень сложным ввиду стремления управлять в широком диапазоне внешних условий, из-за нелинейных характеристик, свойственных объектам, работающим в таких условиях, а также из-за чрезвычайно высоких требований к качеству таких систем.

Теория оптимизации предлагает специалистам по системам управления способы борьбы с указанными трудностями проектирования современных систем и служит хорошим примером использования понятий линейного векторного пространства. Обоснование выбора того или иного критерия оптимальности связано с конкретными технико-экономическими условиями работы системы автоматического управления (САУ) и в теории оптимального управления не рассматривается. Различия между критериями оптимальности дают основания для классификации оптимальных систем по оптимизируемым показателям качества.

Это системы:

- оптимальные по быстродействию,
- оптимальные по расходу ресурсов,
- оптимальные по производительности,
- с минимальными потерями от управления и т.д.

Следующий вариант классификации оптимальных систем – по характеру процессов, протекающих в системах. С этой точки зрения системы делятся на системы:

- непрерывные,
- дискретно-непрерывные,
- дискретные.

Можно проводить классификацию и по типу дифференциальных уравнений, описывающих систему: линейные, нелинейные, с распределёнными параметрами (уравнения в частных производных) и т.д. Можно классифицировать системы по характеру критерия оптимальности.

В этом случае получаем системы: – равномерно оптимальные (наилучшие в каждом отдельном случае, то есть при каждом проведённом эксперименте), – статистически оптимальные (наилучшие в среднем, то есть при усреднении многих экспериментов), –

минимаксно оптимальные (системы, дающие наилучший результат в наихудших условиях). По сравнению с менее строгими методами проектирования замкнутых САУ особенности теории оптимизации состоят в следующем.

1. Процедура проектирования является более чёткой, так как включает в едином показателе проектирования все существенные аспекты качества.
2. Очевидно, что проектировщик может ожидать получения наилучшего результата только в соответствии с выбранным показателем качества. Поэтому для каждой задачи указывается область ограничений.
3. Часто можно обнаружить несовместимость ряда требований качества.
4. Получающаяся в результате проектирования система управления будет адаптивной, если в процессе работы показатель качества меняется, и попутно снова вычисляются параметры регулятора.
5. Работа с нестационарными оптимальными процессами не вносит каких-либо дополнительных трудностей.
6. Непосредственно рассматриваются и нелинейные объекты управления, правда, при этом возрастает сложность вычислений.

Основные этапы построения оптимальных систем состоят в следующем.

1. Построение математических моделей физических процессов, подлежащих управлению, а также критериев качества.
2. Вычисление оптимальных управляющих воздействий.
3. Синтез регулятора, реализующего оптимальное управление. Теория оптимизации продолжает интенсивно развиваться, пытаясь преодолеть трудности, присущие этой теории. Перечислим их.

1. Формирование значимого на языке математике критерия качества из различных требований проектирования – непростая задача. Часто на этом пути применяется метод проб и ошибок.
2. Результирующий критерий качества системы часто является очень чувствительным к различного рода ошибочным предположениям и (или) к изменениям параметров регулируемого процесса.
3. Существующие в настоящее время алгоритмы управления в случае нелинейных систем требуют сложных программ вычислений и, часто, большого количества машинного времени.
4. Хорошо работающие методы проектирования регуляторов, разработанные для малых областей фазового пространства (вблизи траекторий, соответствующих номинальным режимам), сразу же оказываются неприемлемыми применительно к большим областям фазового пространства в случае нелинейных систем.

Основные методы, используемые в теории оптимизации, это:

- классическое вариационное исчисление,
- принцип максимума Понтрягина,
- динамическое программирование Беллмана,
- алгоритмы Винера-Колмогорова и Калмана-Бьюси,
- функциональный анализ,
- метрический анализ.

1.2. Пример практикума: Оптимальное линейное управление. Синтез ПИД регулятора
 Практикум включает выбор регуляторов и изучение влияния настроечных параметров регулятора на динамические свойства САУ и методику настройки САУ на МО и СО.

1. Краткие теоретические сведения

САУ может быть приведена к простейшей одноконтурной алгоритмической схеме (рис. 12).

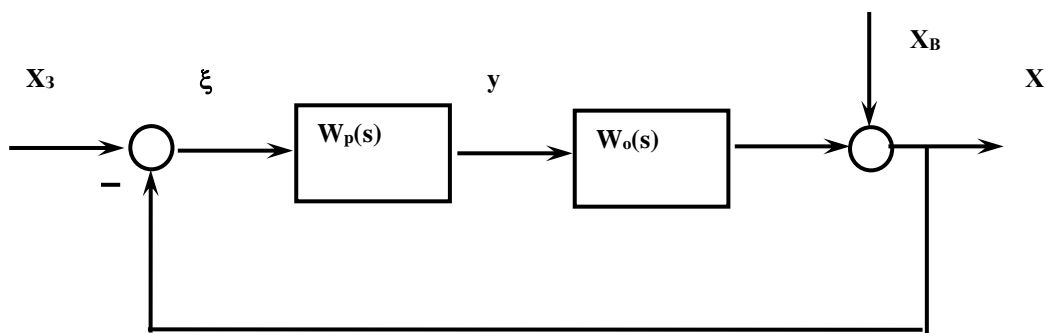


Рис. 1. Алгоритмическая схема типовой одноконтурной системы

На схеме $W_p(s)$ – передаточная функция регулятора, $W_o(s)$ – передаточная функция объекта управления.

Простейший типовой алгоритм управления реализуется при помощи безынерционного звена с передаточной функцией

$$W_p(s) = y(s)/\xi(s) = \kappa_n. \quad (1)$$

Этот закон регулирования называется пропорциональным (П).

Преимущество П-регулятора – простота и быстродействие, недостаток – ограниченная точность.

Закон регулирования, которому соответствует передаточная функция регулятора

$$W_p(s) = \kappa_u / s, \quad (2)$$

называется интегральным (И). И-регулятор реагирует на длительные отклонения управляемой величины от заданного значения. Кратковременные отклонения сглаживаются таким регулятором.

Преимущества интегрального закона по сравнению с пропорциональным законом – лучшая точность в установившихся режимах, недостатки – худшие свойства в переходных режимах (меньшее быстродействие и большая колебательность).

Наибольшее распространение получил пропорционально-интегральный (ПИ) закон регулирования

$$W_p(s) = \kappa_n + \kappa_u / s. \quad (3)$$

Наличие интегральной составляющей в ПИ-законе обеспечивает высокую точность в установившихся режимах, а при определенном соотношении коэффициентов κ_n и κ_u обеспечивает хорошие показатели и в переходных режимах.

Наилучшее быстродействие достигается при пропорционально-дифференциальном (ПД) законе регулирования

$$W_p(s) = \kappa_n + \kappa_d s. \quad (4)$$

ПД-регулятор реагирует не только на величину сигнала ошибки, но и на скорость его изменения. Благодаря этому при управлении достигается эффект упреждения. Недостатком пропорционально-дифференциального закона регулирования является ограниченная точность.

Наиболее универсальным является пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) закон

$$W_p(s) = \kappa_n + \frac{\kappa_u}{s} + \kappa_d s, \quad (5)$$

который сочетает в себе преимущества более простых ранее рассмотренных законов.

В литературе принято ПИД-закон записывать в форме [2]

$$W_p(s) = \kappa_p \frac{T_u + T_d}{T_u} + \frac{\kappa_p}{T_u s} + \kappa_p T_d s, \quad (6)$$

где

$$\kappa_n = \kappa_p \frac{T_u + T_d}{T_u}; \quad \kappa_u = \frac{\kappa_p}{T_u}; \quad \kappa_d = \kappa_p T_d;$$

κ_p – передаточный коэффициент регулятора; T_u – постоянная времени интегрирования; T_d – постоянная времени дифференцирования.

Связь между коэффициентами уравнений (5) и (6) очевидна из почленного сравнения этих уравнений.

Если допустить, что САУ имеет ПИД-регулятор, то алгоритмическая схема типовой одноконтурной системы представляется в виде, показанном на рис. 2.

В зависимости от типа и порядка объектов, а также соотношений между их постоянными времени настройка контура регулирования осуществляется либо по критерию модульного оптимума (МО), либо по критерию симметричного оптимума (СО) (рис. 3).

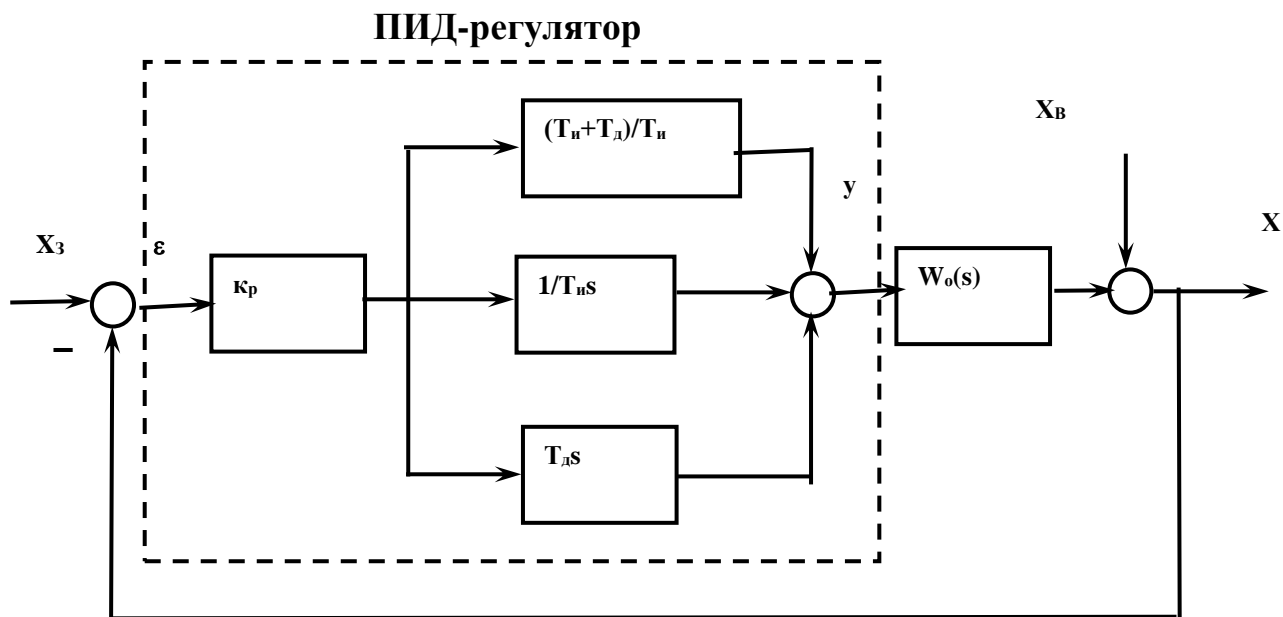


Рис. 2. Одноконтурная САУ с ПИД-регулятором

Изложим сущность метода оптимизации амплитудной характеристики для расчета настроечных параметров типовых регуляторов, используемых для управления следующими объектами без запаздывания:

$$W_0(s) = k_0 / s(T_01s + 1), \quad (7)$$

$$W_0(s) = k_0 / (T_01s + 1)(T_02s + 1), \quad (8)$$

$$W_0(s) = k_0 / s(T_01s + 1)(T_02s + 1), \quad (9)$$

$$W_0(s) = k_0 / (T_01s + 1)(T_02s + 1)(T_03s + 1), \quad (10)$$

где $T_{01} < T_{02} < T_{03}$, причем в общем случае сомножитель с наименьшей постоянной времени T_{01} приближенно заменяет собой несколько инерционных звеньев с еще более малыми постоянными времени T_{0i} .

Моделями (7) - (10) обычно пользуются для приближенного описания объектов, входящих в типовые контуры регулирования систем управления электроприводами (контуры регулирования напряжения, тока и частоты вращения).

Таблица 1

Передаточная функция объекта $W_0(p)$	Условия применения	Критерий	Параметры регулятора		
			κ_p	T_u	T_d
$\frac{k_0}{(T_{01}p + 1)(T_{02}p + 1)}$	$T_{02} \leq 4T_{01}$	МО	$\frac{T_{02}}{2k_0 T_{01}}$	T_{02}	-

$(T_{01} < T_{02})$	$T_{02} \geq 4T_{01}$	CO	$\frac{T_{02}}{2k_0 T_{01}}$	$4T_{01}$	-
$\frac{k_0}{p(T_{01}p+1)(T_{02}p+1)}$	$T_{02} \ll T_{01}$	CO	$\frac{1}{2k_0 T_{01}}$	$4T_{01}$	-
	$T_{01} < T_{02}$	CO	$\frac{1}{2k_0 T_{01}}$	$4T_{01}$	T_{02}
$\frac{k_0}{(T_{01}p+1)(T_{02}p+1)(T_{03}p+1)}$ $(T_{01} < T_{02} < T_{03})$	$T_{03} \leq 4T_{01}$	MO	$\frac{T_{03}}{2k_0 T_{01}}$	T_{03}	T_{02}
	$T_{03} \geq 4T_{01}$	CO	$\frac{T_{03}}{2k_0 T_{01}}$	$4T_{01}$	T_{02}
	$T_{02} \geq 4T_{01}$	CO	$\frac{T_{02} T_{03}}{8k_0 T_{01}^2}$	T_{02}	$4T_{03}$

В зависимости от типа и порядка (7) - (10), а также соотношений между их постоянными времени, настройка контура регулирования осуществляется либо по критерию МО, либо по критерию СО (табл. 1).

Настроечные параметры регуляторов k_p , T_i и T_d , обеспечивающие получение определенных показателей качества, будем называть гарантирующими.

Если у объекта второго порядка (8) $T_{02} \leq 4T_{01}$, то предпочтителен критерий МО. Для выполнения требований критерия применяют ПИ-регулятор

$$W_p(s) = k_p (T_i s + 1) / T_i s \quad (11)$$

с постоянной времени интегрирования T_i , равной наибольшей постоянной времени объекта $T_i = T_{02}$. Тем самым достигается полная компенсация этой наибольшей постоянной времени.

Передаточная функция разомкнутого контура принимает вид

$$W(s) = W_p(s)W_0(s) = k_p k_0 / [T_i s(T_{01} s + 1)] \quad (12)$$

и совпадает с передаточной функцией разомкнутого контура колебательной модели, для которой критерий МО сводится к условию $\xi = 0.7$. Отсюда в соответствии с ранее приведенными формулами для колебательной модели $kT_{01} = 1/4\xi^2$; $T_{01} = T/2\xi$ находим

$$(13) \quad k = 1/4\xi^2 T_{01} = 1/2T_{01}.$$

Учитывая, что для рассматриваемого контура с ПИ - регулятором

$$k = k_{рк0}/T_i \text{ и } T_i = T_{02}, \quad (14)$$

получим, кроме (13), второе условие настройки на МО

$$k_{р} = T_{02}/2k_0T_{01}. \quad (15)$$

На рис. 14,а показаны логарифмическая амплитудно-частотная характеристика разомкнутого контура и переходная характеристика замкнутой системы с объектом (10) и ПИ-регулятором, настроенным на МО.

На рис. 14,б приведена логарифмическая амплитудно-частотная характеристика и переходная характеристика разомкнутой системы, настроенной на симметричный оптимум. Из рис. 3,б видно, что логарифмическая амплитудно-частотная характеристика имеет симметричную форму, поэтому подход к выбору настроек регулятора получил название симметричного оптимума. Переходный процесс в одноконтурной замкнутой системе при этом характеризуется большим перерегулированием.

Выводы о влиянии критериев настройки и параметров регулятора на показатели переходного процесса:

Увеличение передаточного коэффициента $k_{р}$ приводит к уменьшению перерегулирования.

Увеличение постоянной интегрирования T_i приводит к увеличению времени переходного процесса и снижению перерегулирования.

Критерий МО предпочтителен при оптимизации систем, обрабатывающих в основном задающее воздействие.

Критерий СО целесообразно применять при настройке стабилизирующих систем, обрабатывающих в основном возмущающее воздействие.

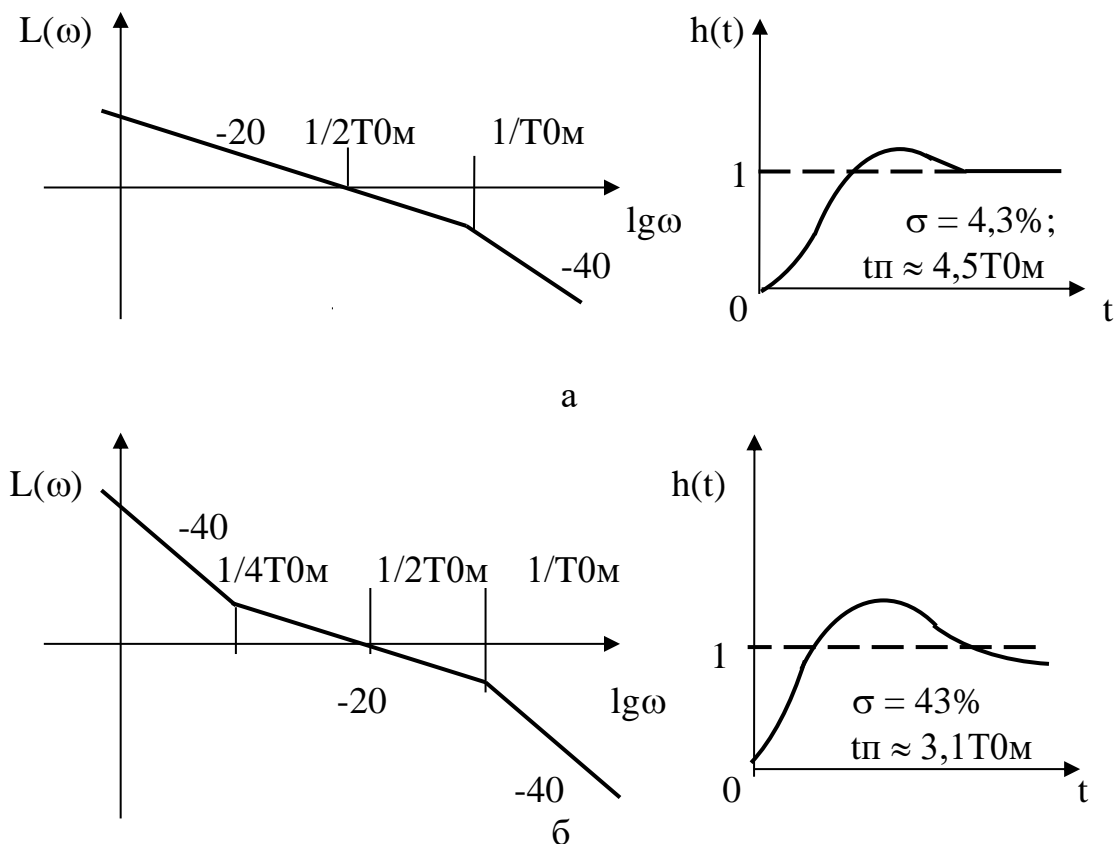


Рис. 3. Частотные и переходные характеристики одноконтурной системы регулирования, настроенной по критериям модульного (а) и симметричного (б) оптимумов

Задание для выполнения практической работы

Изучить основные законы регулирования.

Изучить структуры регуляторов, соответствующих законам регулирования.

Произвести выбор типа регулятора в зависимости от структуры объекта управления и расчет настроечных параметров регулятора.

Провести расчёт свойств САУ с различными типами регуляторов.

4. Порядок выполнения работы

Набрать структурную схему одноконтурной замкнутой САУ с ПИД-регулятором в среде моделирующей программы CLASSIC-3 (рис. 4). Передаточную функцию по возмущающему воздействию установить равной

$$W_B(s) = 0.1 / (s + 2.2s^2 + 1.2s^3).$$

Возмущающее воздействие установить равным нулю, а обратную связь установить единичной.

Отредактировать передаточную функцию объекта управления согласно (8) по заданному варианту табл. 2.

Таблица 2

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8
κ_0	10	11	15	14	13	12	10	9
T_{01}	0,10	0,12	0,14	0,15	0,11	0,14	0,15	0,12
T_{02}	0,30	0,36	0,42	0,45	0,33	0,36	0,40	0,30

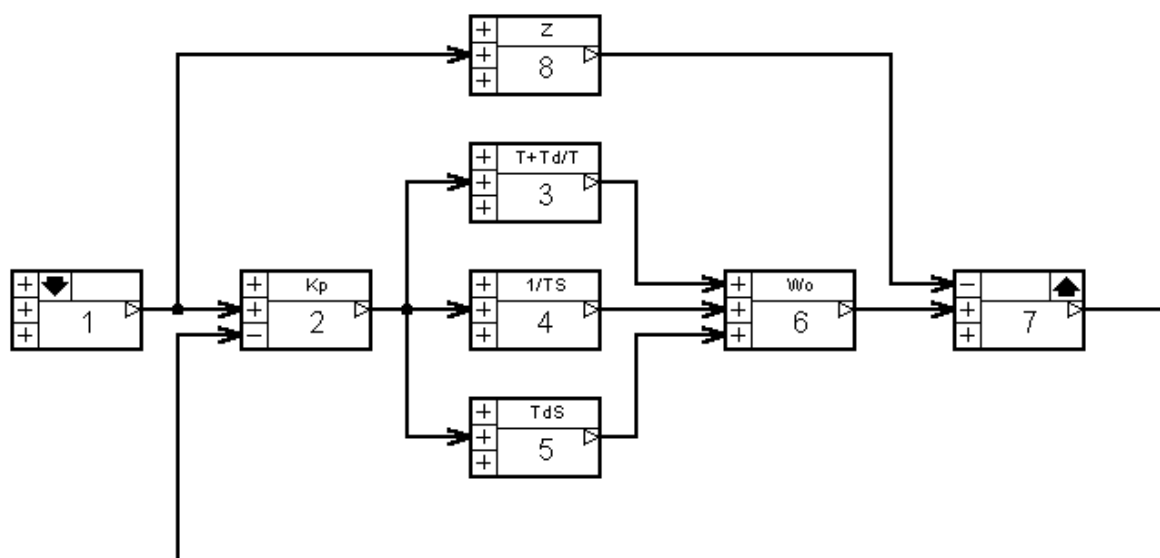


Рис. 4. Структурная схема одноконтурной САУ

1. Определить по табл. 1 тип регулятора, критерий оптимума и рассчитать настроечные параметры регулятора κ_p , T_i , T_d . Если дифференциальная составляющая в регуляторе не должна присутствовать, то ее передаточная функция в структурной схеме приравнивается нулю. Данные занести в табл.3.

2. Снять переходный процесс в системе и определить его длительность и перерегулирование σ при возмущающих воздействиях $Z=0$ и $Z=1$. График переходного процесса зарисовать или скопировать программно-аппаратными средствами компьютера.

3. Разомкнуть систему (рис. 5).

4. Снять логарифмическую амплитудно-частотную характеристику разомкнутой САУ.
5. Определить частоты среза $\omega_{ср}$ и сопряжения $\omega_{сопр}$. Проверить соответствие $\omega_{ср} = 1/2T_{01}$, $\omega_{сопр} = 1/T_{01}$.

Таблица 3

Настроечный параметр	Расчетная формула	Расчетное значение	Критерий оптимума
K_p			
T_u			
T_δ			

Отредактировать передаточную функцию (9) объекта управления согласно заданному в табл. 3 варианту.

Выполнить задания по пунктам 3, 4 и 5.

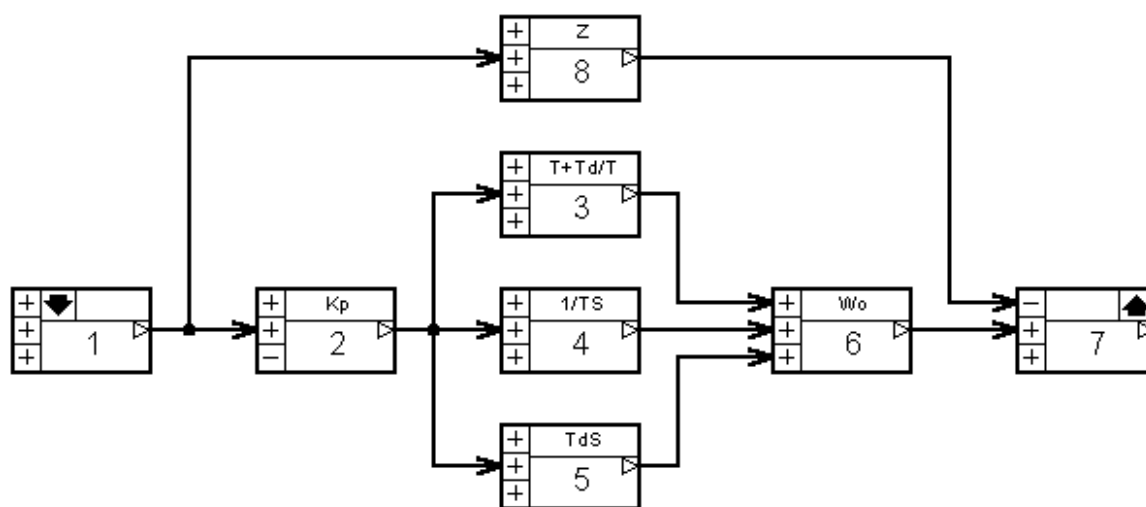


Рис. 5. Структурная схема разомкнутой САУ

1. Содержание отчета

В отчете привести по практике привести структурные схемы исследуемых систем, расчеты настроечных параметров регуляторов, переходные характеристики, логарифмические амплитудно-частотные характеристики, ответы на вопросы.

2. Вопросы

1. Как называются основные законы регулирования?
2. Какими достоинствами и недостатками характеризуются каждый из законов регулирования?
3. Какой критерий оптимальности добавляется при переходе от П и ПИ регулированию?

2 Методические указания для организации самостоятельной работы

2.1 Общие положения

Целями самостоятельной работы являются систематизация, расширение и закрепление теоретических знаний.

Самостоятельная работа студента по дисциплине включает следующие виды активности:

1. Изучение тем теоретической части дисциплины, вынесенных для самостоятельной проработки.
2. Подготовка к практическим работам.
3. Выполнение индивидуальных заданий.

2.2 Изучение тем теоретической части дисциплины, вынесенных для самостоятельной проработки

Изучение тем теоретической части дисциплины, вынесенных для самостоятельной проработки к разделам:

- 1 Современное состояние теории управления
- 2 Адаптивные системы управления
- 3 Интеллектуальное управление
- 4 Нечеткое управление

Рекомендуемая литература:

1. Современные проблемы теории управления: Учебное пособие / Ю. А. Шурыгин, А. Г. Карпов - 2017. 80 с. . — Текст : электронный //Научно-образовательный портал ТУСУР. — URL: <https://edu.tusur.ru/publications/7487> (дата обращения: 26.12.2022)
2. Озеркин, Д. В. Основы автоматики и системы автоматического управления : учебное пособие / Д. В. Озеркин. — Москва : ТУСУР, 2012. — 179 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/1090610906> (дата обращения: 26.12.2022)
3. Гайдук, А. Р. Теория автоматического управления в примерах и задачах с решениями в MATLAB : учебное пособие / А. Р. Гайдук, В. Е. Беляев, Т. А. Пьявченко. — 5-е изд., испр. и доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — URL: <https://e.lanbook.com/reader/book/12574110906> (дата обращения: 26.12.2022)

2.3 Выполнение индивидуального (творческого) задания (ИЗ)

В рамках выполнения индивидуального (творческого) задания (ИЗ) необходимо подготовить 7 минутный доклад, раскрывающий одну из следующих тем:

Вариант индивидуального задания определяется преподавателем в индивидуальном порядке, основываясь на уровень знаний и студента.

Примеры тем:

1. Автоматическое управление автомобилем.
2. Современные системы автопилотирования.
3. Автоматические системы фотовидеофиксации нарушений ПДД.
4. Проблемы внедрения автоматических систем управления предприятием.
5. Нейронные сети в задачах обработки изображений.
6. Управление манипулятором с гидравлическим приводом.
7. Ошибки искусственного интеллекта.
8. Цифровизация биоданных.
9. Сильный и слабый ИИ. Примеры.
10. Кибернетика и робототехника. Биовдохновлённые роботы.
11. Коллективная робототехника.

Основная и дополнительная литература

Основная литература:

1. Современные проблемы теории управления: Учебное пособие / Ю. А. Шурыгин, А. Г. Карпов - 2017. 80 с. — Текст : электронный // Научно-образовательный портал ТУСУР. — URL: <https://edu.tusur.ru/publications/7487> (дата обращения: 26.12.2022)

Дополнительная литература:

1. Озеркин, Д. В. Основы автоматики и системы автоматического управления : учебное пособие / Д. В. Озеркин. — Москва : ТУСУР, 2012. — 179 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/10906> (дата обращения: 26.12.2022).
2. Гайдук, А. Р. Теория автоматического управления в примерах и задачах с решениями в MATLAB : учебное пособие / А. Р. Гайдук, В. Е. Беляев, Т. А. Пьявченко. — 5-е изд., испр. и доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — URL: <https://e.lanbook.com/reader/book/125741> (дата обращения: 26.12.2022).
3. Власов, К.П. Теория автоматического управления. Основные положения. Примеры расчета: Учебное пособие / К.П. Власов. - Харьков: Гуман. Центр, 2013. - 544 с.
4. Власов, К.П. Теория автоматического управления. Основные положения. Программы расчета / К.П. Власов. - М.: Гуманитарный Центр, 2013. - 544 с.
5. Гайдук, А.Р. Теория и методы аналитического синтеза систем автоматического управления(полиномиальный подход) / А.Р. Гайдук. - М.: Физматлит, 2012. - 360 с.
6. Гайдук, А.Р. Теория автоматического управления в примерах и задачах с решениями в MATLAB. 2-е изд., испр / А.Р. Гайдук, В.Е. Беляев и др.. - СПб.: Лань, 2011. - 464 с.
7. Гайдук, А.Р. Теория автоматического управления в примерах и задачах с решениями в MATLAB: Учебное пособие. 3-е изд., стер / А.Р. Гайдук, В.Е. Беляев и др.. - СПб.: Лань, 2016. - 464 с.
8. Ерофеев, А.А. Теория автоматического управления: Учебник для вузов / А.А. Ерофеев. - СПб.: Политехника, 2008. - 302 с.
9. Ким, Д.П. Теория автоматического управления. учебник и практикум для академического бакалавриата / Д.П. Ким. - Люберцы: Юрайт, 2016. - 276 с.
10. Ким, Д.П. Теория автоматического управления. Т. 1. Линейные системы. 2-е изд., испр.и доп. / Д.П. Ким. - М.: Физматлит, 2010. - 312 с.
11. Ким, Д.П. Теория автоматического управления. Т. 2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. 2-е изд., испр.и доп. / Д.П. Ким. - М.: Физматлит, 2007. - 440 с.
12. Ким, Д.П. Теория автоматического управления. Том 1. Линейные системы / Д.П. Ким. - М.: Физматлит, 2007. - 312 с.
13. Ким, Д.П. Теория автоматического управления. Том 2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы / Д.П. Ким. - М.: Физматлит, 2007. - 440 с.
14. Коновалов, Б.И. Теория автоматического управления: Учебное пособие / Б.И. Коновалов, Ю.М. Лебедев.. - СПб.: Лань, 2010. - 224 с.
15. Коновалов, Б.И. Теория автоматического управления: учебное пособие. 3-е изд., пер. и доп. / Б.И. Коновалов. - СПб.: Лань, 2010. - 224 с.
16. Коновалов, Б.И. Теория автоматического управления: Учебное пособие. 4-е изд., стер / Б.И. Коновалов, Ю.М. Лебедев. - СПб.: Лань, 2016. - 224 с.
17. Кудинов, Ю.И. Теория автоматического управления (с использованием MATLAB - SIMULINK): Учебное пособие / Ю.И. Кудинов, Ф.Ф. Пашенко. - СПб.: Лань, 2016. - 256 с.
18. Ощепков, А.Ю. Системы автоматического управления: теория, применение, моделирование в MATLAB: Учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп. / А.Ю. Ощепков. - СПб.: Лань, 2013. - 208 с.
19. Подчукаев, В.А. Теория автоматического управления (аналитические методы) / В.А. Подчукаев. - М.: Физматлит, 2005. - 392 с.
20. Савин, М.М. Теория автоматического управления: Учебное пособие / М.М. Савин, В.С.

Елсуков, О.Н. Пятна; Под ред. В.И. Лачин.. - Рн/Д: Феникс, 2007. - 469 с.
21. Юревич, Е.И. Теория автоматического управления. 4-е изд., пер. и доп. / Е.И. Юревич. -
СПб.: ВНУ, 2016. - 560 с.