

Подписано электронной подписью:
Вержицкий Данил Григорьевич
Должность: Директор КГПИ КемГУ
Дата и время: 2025-04-23 00:00:00
471086fad29a3b30e244c728abc3661ab35c9d50210def0e75e03a5b6fdf6436

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Кузбасский гуманитарно-педагогический институт
федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Кемеровский государственный университет»**

Факультет информатики, математики и экономики

Кафедра информатики и вычислительной техники им. В.К. Буторина

A.B. Маркидонов

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
УПРАВЛЕНИЯ**

Методические указания к выполнению курсовой работы

*для обучающихся по направлению подготовки
09.03.01 Информатика и вычислительная техника, профиль
«Автоматизированные системы обработки информации и управления»*

Форма обучения – очная, заочная

Новокузнецк, 2024

УДК 681.51
ББК 15.2

Маркидонов А.В.

Теоретические основы автоматизированного управления: метод. указ. к выполнению курсовой работы по направлению подготовки 09.03.01 Информатика и вычислительная техника для очной и заочной форм обучения / А. В. Маркидонов; Кузбасский гуманитарно-педагогический институт ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет». – Электрон. текст. дан. – Новокузнецк: КГПИ КемГУ, 2024. – 31 с.

В методических указаниях приводятся общие положения, определяющие порядок выполнения, представления результатов и защиты курсовой работы, критерии ее оценки, варианты заданий, требования к структуре и содержанию, перечень и характеристика сведений, приводимых в разделах курсовой работы, список рекомендуемой литературы, а также пример выполнения расчетной части работы.

Указания предназначены для студентов очной и заочной формы обучения, обучающихся по направлению подготовки 09.03.01 Информатика и вычислительная техника, профиль «Автоматизированные системы обработки информации и управления».

Рекомендовано
на заседании кафедры
информатики и вычислительной
техники им. В.К. Буторина
«22» февраля 2024 г.
Заведующий кафедрой

А.В. Маркидонов

Утверждено
методической комиссией
факультета информатики, математики
и экономики
«14» марта 2024 г.
Председатель комиссии

И.А. Жибинова

© Маркидонов А.В., 2024
© Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Кемеровский государственный
университет», Кузбасский гуманитарно-
педагогический институт, 2024

Текст представлен в авторской редакции

Содержание

Введение	4
1 Общие положения	7
2 Структура пояснительной записки к курсовой работе	10
3 Содержание структурных элементов пояснительной записки	11
3.1 Титульный лист	11
3.2 Реферат	11
3.3 Содержание	12
3.4 Определения, обозначения и сокращения	12
3.5 Введение	13
3.6 Основная часть	14
3.7 Заключение и выводы	15
3.8 Список литературы	15
4 Задание на курсовую работу	16
5 Демонстрационный материал	16
Приложение 1. Варианты структурных схем	19
Приложение 2. Передаточные функции звеньев и значения параметров.....	22
Приложение 3. Пример выполнения расчетно-графического раздела	23

Введение

Определяющим фактором повышения эффективности процесса функционирования производственной системы является наличие мобильной и оптимальной по структуре системы управления реального времени, адекватно отражающей протекающие в производственной системе процессы. Следовательно, при разработке современных технологических, производственных, информационных и других систем возникают проблемы, меньше связанные с рассмотрением свойств и законов функционирования элементов, а больше – с выбором наилучшей структуры, оптимальной организации взаимодействия элементов системы, определения оптимальных режимов функционирования, учетом влияния внешней среды и т.д. Речь идет о том, что успешное осуществление программы автоматизации предъявляет к исследованию проблем развития производственных систем следующие требования: повышение уровня системного мышления; повышение уровня строгости описания; изучение новых методов исследования.

Повышение эффективности производства обеспечивает автоматизация. Автоматизация производства неизменно связана с созданием систем управления, которые выполняют функции контроля и регулирования производственных процессов, заменяя человека.

Главный тезис современного производства – утверждение первостепенной важности проблемы выработки целостной концепции производственной системы нового типа, охватывающей все основные аспекты: организацию, технологию, проектирование и изготовление. Только на базе подобной концепции можно корректно ставить и решать задачу комплексной автоматизации производственного процесса.

Теория автоматического управления – это наука, которая изучает

процессы управления и проектирования автоматических систем, работающих по замкнутому циклу. Иначе говоря, она изучает любые системы с обратной связью.

Учебная дисциплина «Теоретические основы автоматизированного управления» является обязательной дисциплиной комплексного модуля «Математические и общетехнические основы профессиональной деятельности» основной профессиональной образовательной программы вуза для направлений 09.03.01 Информатика и вычислительная техника, профиль «Автоматизированные системы обработки информации и управления» и обеспечивает формирование у студентов профессиональных знаний в области изучения основ системной деятельности, методологии проектирования автоматизированных систем обработки информации и управления, проведения системного анализа и принятия коллегиальных решений в организационных системах управления.

В результате освоения дисциплины у обучающегося должны быть сформирована компетенция ОПК-1 «Способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности».

На заключительном этапе изучения дисциплины студентом осуществляется выполнение курсовой работы, в ходе которого применяются полученные знания и умения при решении комплексных задач, связанных со сферой профессиональной деятельности будущих специалистов. Элемент исследования – неотъемлемая часть курсовой работы, нацеленная на развития навыков находить нужную информацию из различных источников.

Целью курсовой работы является анализ линейной непрерывной системы автоматического регулирования.

Задачами курсовой работы являются:

- описание теоретических основ анализа систем управления;
- преобразование структурной схемы системы автоматического управления;
- определение частотных характеристик системы;
- исследование устойчивости системы;
- определение показателей качества переходных процессов в системе.

В методических указаниях приводятся общие положения, определяющие порядок выполнения, представления результатов и защиты курсовой работы, критерии ее оценки, варианты заданий, требования к структуре и содержанию, перечень и характеристика сведений, приводимых в разделах курсовой работы, список рекомендуемой литературы, а также пример выполнения расчетной части работы.

1 Общие положения

Руководитель курсовой работы выдает задание на работу (2-я неделя семестра), методические указания по выполнению и оформлению курсовой работы, оказывает студенту помощь в разработке графика и календарного плана на весь период выполнения работы, рекомендует студенту основную литературу, справочные и методические материалы, проводит регулярные консультации по расписанию, проверяет ход выполнения работы.

Ответственность за результаты работы несет студент.

Курсовая работа оформляется в виде пояснительной записи и демонстрационной части (компьютерной презентации), состоящей из набора слайдов и их копий на бумажных носителях. Демонстрационные материалы используются во время защиты работы.

Обратите внимание! Общие требования к содержанию и оформлению типовых структурных элементов пояснительной записи к курсовой работе и демонстрационной части приведены в учебно-методическом пособии «Правила оформления учебных работ студентов»¹ и являются обязательными.

Пояснительная записка представляется руководителю на проверку в электронном и распечатанном виде в соответствии с графиком самостоятельной работы студента.

Курсовая работа подлежит защите. Защита курсовой работы осуществляется в назначенное руководителем время. К защите допускаются студенты, представившие оформленную в соответствии с установленными требованиями пояснительную записку к курсовой работе.

На защите заслушивается:

¹ Правила оформления учебных работ студентов [Текст] : учебно-методическое пособие / И. А. Жибнова [и др.] ; Новокузнецк. ин-т (фил.) Кемеров. гос. ун-та ; под ред. И. А. Жибновой. – Новокузнецк: НФИ КемГУ, 2018. – 124 с. – URL: skado.dissw.ru/indicationsvkr/842/ (дата обращения 31.01.2024). – Текст: электронный.

- устный доклад студента о выполненной работе и ее результатах;
- ответы на вопросы присутствующих на защите (руководителя курсовой работы, студентов группы и приглашенных преподавателей) по представленной пояснительной записке и докладу;
- отзыв руководителя курсовой работы;
- дополнительные вопросы и замечания присутствующих на защите;
- ответы студента на замечания и на дополнительные вопросы.

Для доклада основных итогов работы студенту дается 7-10 минут.

Основные положения работы при докладе должны быть представлены в виде компьютерной презентации.

Оценка за курсовую работу складывается из следующих показателей:

- степень соответствия пояснительной записи требованиям к содержанию и оформлению;
- уровень усвоения теоретических знаний, показанный при ответе на вопросы при защите;
- уровень практических навыков, контролируемый выполнением расчетной части работы;
- соблюдение установленных сроков выполнения работы.

Руководитель курсовой работы оценивает качество пояснительной записи, доклада, демонстрационного материала, а также ответов на заданные вопросы, учитывая мнения, высказанные в ходе группового обсуждения присутствовавших на защите.

Критерии оценки выполнения студентами курсовых работ следующие.

Оценка «отлично» ставится в том случае, если:

- работа выполнена в установленные сроки, в полном соответствии требованиям к содержанию и оформлению;
- при защите работы студент показывает глубокие знания вопросов темы, свободно оперирует данными, во время доклада результатов

использует наглядные пособия (таблицы, схемы, графики и т.п.), доказательно отвечает на вопросы; количество правильных ответов на защите составляет от 80 до 100 процентов;

- расчетная часть курсовой работы выполнена верно.

Оценка «хорошо» ставится, если работа студента удовлетворяет основным требованиям к работе на оценку «отлично», но в ней допущены несущественные ошибки или недочеты. Количество правильных ответов на защите от 66 до 79 процентов.

Оценка «удовлетворительно» ставится, если:

- без уважительной причины нарушился установленный график выполнения заданий;
- допущены существенные ошибки, работа отличается поверхностным анализом и недостаточно критическим разбором предмета работы, в ней просматривается непоследовательность изложения материала, имеются замечания по содержанию работы и методике анализа;
- оформление пояснительной записи не в полной мере отвечает установленным требованиям;
- при защите студент проявляет неуверенность, показывает слабое знание вопросов темы, не дает полного, аргументированного ответа на заданные вопросы; количество правильных ответов на защите от 50 до 65 процентов.

Оценка «неудовлетворительно» ставится, если:

- без уважительной причины нарушился установленный график выполнения заданий;
- оформление пояснительной записи не в полной мере отвечает установленным требованиям; допущены принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных заданий, работа не содержит анализа и практического разбора предмета работы, не отвечает требованиям,

изложенным в методических рекомендациях, высказываются сомнения руководителя о достоверности результатов и выводов;

- при защите работы студент затрудняется отвечать на поставленные вопросы и (или) допускает существенные ошибки; количество правильных ответов на защите менее 50 процентов.

Студенту, выполнившему работу в срок, но получившему при защите неудовлетворительную оценку, назначается повторная защита.

2 Структура пояснительной записки к курсовой работе

Пояснительная записка должна содержать следующие структурные элементы:

- **титульный лист;**
- **реферат;**
- **содержание;**
- определения;
- обозначения и сокращения;
- **введение;**
- **основная часть;**
- **заключение и выводы;**
- **список литературы;**
- приложения.

Обязательные структурные элементы выделены полужирным шрифтом, остальные включают в пояснительную записку при необходимости.

Наименования структурных элементов текста пояснительной записи, указанные выше, служат заголовками и не нумеруются. Исключение

составляет основная часть пояснительной записи. Наименование «Основная часть» в заголовок не выносится; заголовки разделов основной части формулируются в соответствии с ее содержанием и им присваивается сквозная нумерация.

Так называемая графическая часть курсовой работы в виде схем, чертежей и т.п., которую традиционно соотносят с проектной инженерной деятельностью, включается либо в основную часть пояснительной записи, либо в приложения.

3 Содержание структурных элементов пояснительной записи

3.1 Титульный лист

Титульный лист является первым листом пояснительной записи и служит источником информации, необходимой для обработки и поиска документа.

Титульный лист следует оформлять по установленной форме и правилам оформления.

Необходимо иметь в виду, что макеты титульных листов периодически пересматриваются и переутверждаются локальными нормативными актами вуза. В связи с этим, следует проверять наличие актуальных изменений в макетах на кафедре и своевременно учитывать эти изменения при оформлении работы.

3.2 Реферат

Реферат должен содержать:

- сведения об объеме пояснительной записи, количестве иллюстраций, таблиц, приложений, количестве использованных источников;

- перечень ключевых слов;
- текст реферата.

Перечень ключевых слов должен включать от 5 до 15 слов или словосочетаний из текста пояснительной записи, которые в наибольшей мере характеризуют содержание и обеспечивают возможность информационного поиска. Ключевые слова приводятся в именительном падеже и печатаются строчными буквами в строку через запятые.

Текст реферата должен отражать:

- цель работы и объект исследования;
- метод или методологию проведения работы;
- сведения, раскрывающие содержание основной части работы;
- краткие выводы об особенностях работы, ее новизне, возможности и области применения полученных результатов.

Объем реферата не превышает 1 страницы.

3.3 Содержание

В содержании приводятся заголовки всех разделов, подразделов и более мелких рубрик (если они имеют наименование) с указанием номеров страниц, с которых они начинаются. Все приложения должны быть перечислены в содержании работы с указанием их номеров и заголовков. Содержание включают в общее количество страниц записи.

3.4 Определения, обозначения и сокращения

В курсовой работе должны применяться научно-технические термины, обозначения, сокращения слов, установленные соответствующими стандартами, а при их отсутствии – общепринятые в научно-технической литературе. Если в тексте используется специфическая терминология,

обозначения, сокращения слов, то должны быть даны соответствующие разъяснения.

Определения, необходимые для уточнения или установления используемых терминов приводят в структурном элементе «Определения». Перечень определений начинают со слов: «В настоящей работе применяют следующие термины с соответствующими определениями».

Перечень обозначений и сокращений, применяемых в работе, содержит структурный элемент «Обозначения и сокращения». Запись обозначений и сокращений проводят в порядке приведения их в тексте с необходимой расшифровкой и пояснениями.

Допускается определения, обозначения и сокращения приводить в одном структурном элементе «Определения, обозначения и сокращения».

Перечень должен располагаться столбцом. Слева в алфавитном порядке приводят сокращения, условные обозначения, символы, и термины, справа – их детальную расшифровку.

3.5 Введение

Функциональное назначение введения состоит в подготовке к восприятию основного текста, вовлечению в проблематику содержания курсовой работы. Оно представляет собой одну из наиболее ответственных частей пояснительной записки, поскольку содержит в сжатой форме все положения, обоснованию которых посвящена работа.

Во введении курсовой работы:

- отражается современное состояние научных исследований в области тематики, в рамках которой выполняется курсовая работа, что логично подводит к выявлению ее актуальности и практической значимости;
- определяется объект и предмет исследования, формулируются цели, определяются задачи и методы исследования;

- определяется план исследования и кратко характеризуются основные разделы пояснительной записки.

Объем введения составляет не более 2-х страниц.

3.6 Основная часть

Основная часть состоит из 2-х разделов: теоретического и расчетно-графического.

В первом разделе, называемым «Теоретические основы анализа систем управления» рассматриваются следующие вопросы:

1. Соединения элементов структурных схем (последовательное соединение звеньев, параллельное соединение звеньев, соединение звеньев по схеме с обратной связью);

2. Виды передаточных функций системы (передаточная функция разомкнутой системы, передаточная функция замкнутой системы по выходу и по ошибке);

3. Временные и частотные характеристики системы (переходная характеристика системы, амплитудно-фазово-частотная характеристика, амплитудно-частотная характеристика, логарифмическая амплитудно-частотная характеристика, логарифмическая фазово-частотная характеристика);

4. Устойчивость системы (суждение об устойчивости системы по расположению нулей и полюсов, оценка устойчивости системы по критерию Гурвица и по логарифмическому критерию Найквиста);

5. Показатели качества системы (показатели качества системы в переходном режиме и в установившемся режиме).

Во втором, называемым «Анализ линейной системы управления», приводятся результаты вычислений в соответствии с заданием.

Объем основной части – от 20 до 30 страниц.

3.7 Заключение и выводы

Заключение – это финальная часть курсовой работы, которая завершает её. В нём кратко и ёмко обобщаются результаты исследования.

В структуре заключения могут содержаться:

- вводный текст о поставленной цели и задачах работы;
- краткое описание объекта и предмета исследования;
- выводы по каждому разделу, начиная с первого, последовательно изложенные;
- заключение о соответствии выполненной работы её плану, поставленной цели и задачам;
- подтверждённые доказательства актуальности и значимости выполненной работы;
- выявленные задачи и направления развития тематики курсовой работы.

Объём заключения в курсовой работе не должен превышать 1–3 страниц.

3.8 Список литературы

Список литературы – это одна из составляющих любой научной работы. Это систематизированный перечень использованных источников. Список литературы в курсовой работе оформляется согласно ГОСТ Р 7.0.100–2018 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления» и включает не менее 10 источников. При этом вся литература должна быть по теме курсовой, и кроме того, не рекомендуется использовать устаревшие издания.

4 Задание на курсовую работу

Для заданной структурой схемы САУ необходимо:

1. Получить эквивалентную функцию.
2. Построить АЧХ, ФЧХ, АФЧХ и ЛАЧХ.
3. Определить устойчивость по критерию Гурвица.
4. Определить устойчивость по критерию Михайлова.
5. Построить переходный процесс разомкнутой системы при помощи обратного преобразования Лапласа и провести по нему оценку качества.

Исходными материалами для выполнения курсовой работы являются:

1. Структурная схема системы автоматизированного управления (Приложение 1);
2. Параметры передаточных функций звеньев, входящих в данную систему (Приложение 2).

Пример выполнения расчетной графического раздела в системе компьютерной алгебры Mathcad приведен в Приложении 3.

5 Демонстрационный материал

Демонстрационный материал (презентация курсовой работы) должен содержать документы, обеспечивающие наглядное изложение сути курсовой работы, а именно:

- тему работы; фамилию, имя и отчество исполнителя; шифр группы; фамилию, имя, отчество и должность руководителя;
- содержание основной части;
- заключение и выводы.

Требования к содержанию и объему демонстрационного материала определяются студентом совместно с руководителем курсовой работы. При этом следует исходить из того, что представленный демонстрационный материал должен активно и полностью использоваться при докладе в процессе защиты работы.

Рекомендуемая литература

Основная учебная литература

1. Ким, Д. П. Теория автоматического управления : учебник и практикум для вузов / Д. П. Ким. – Москва : Издательство Юрайт, 2020. – 276 с. – ISBN 978-5-9916-9294-6. – URL: <https://urait.ru/bcode/450559>. (дата обращения 31.01.2024). – Текст: электронный.
2. Ягодкина, Т. В. Теория автоматического управления : учебник и практикум для вузов / Т. В. Ягодкина, В. М. Беседин. – Москва : Издательство Юрайт, 2020. – 470 с. – ISBN 978-5-534-06483-4. – URL: <https://urait.ru/bcode/450572>. (дата обращения 31.01.2024). – Текст: электронный.

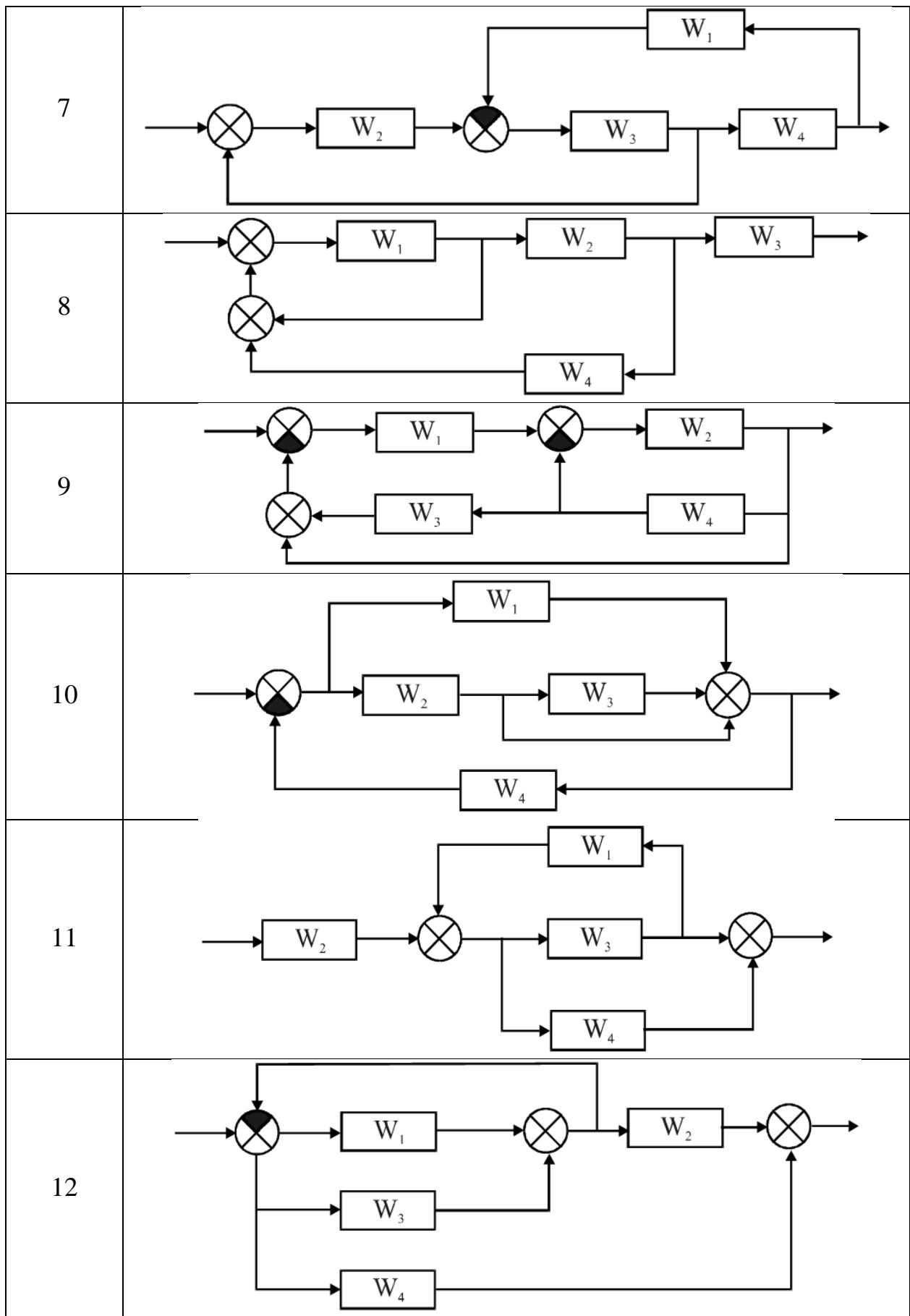
Дополнительная учебная литература

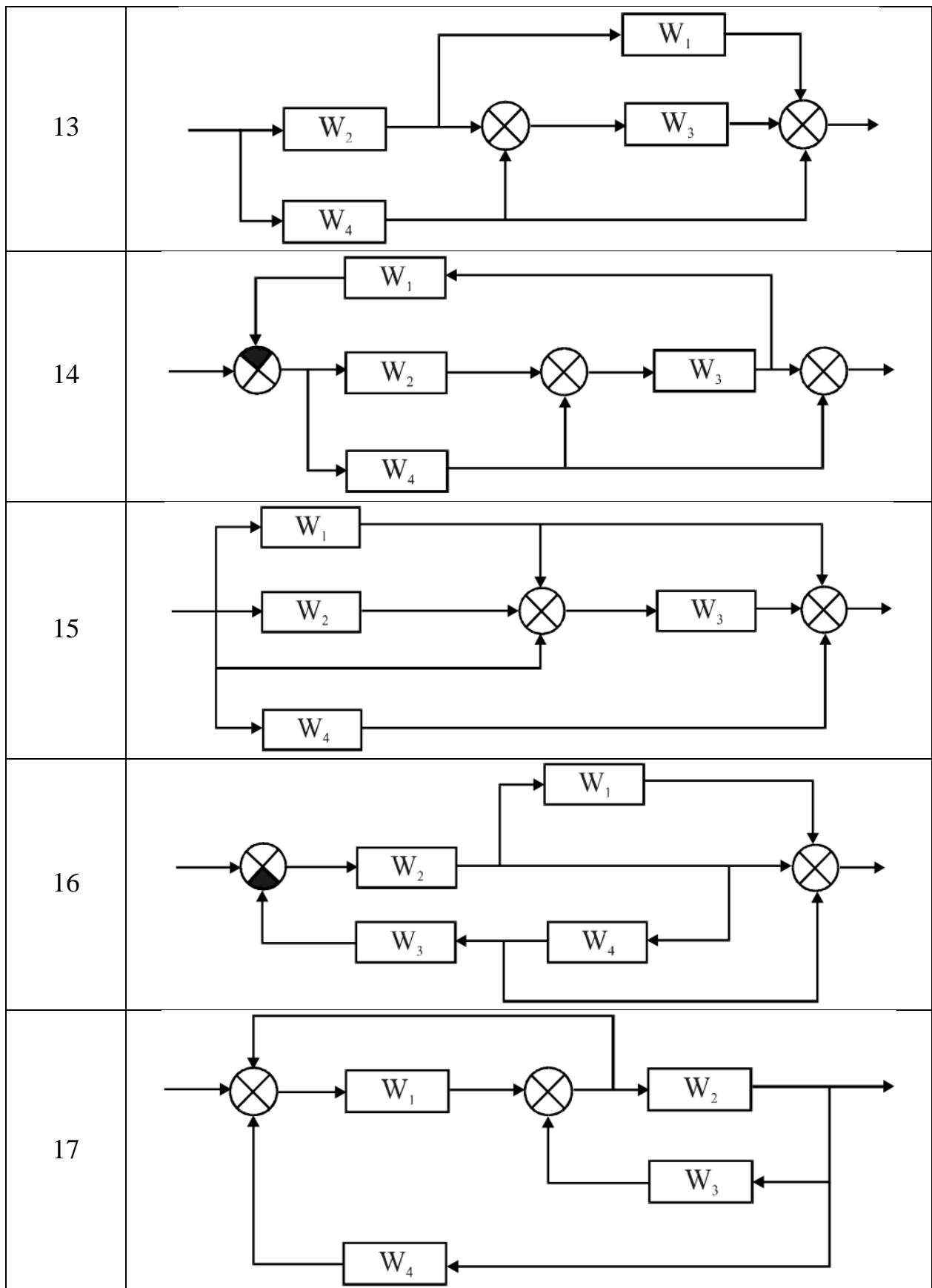
3. Первозванский, А. А. Курс теории автоматического управления : учебное пособие / А. А. Первозванский. – Санкт-Петербург : Лань, 2023. – 616 с. – ISBN 978-5-507-47043-3. – URL: <https://e.lanbook.com/book/322499>. (дата обращения 31.01.2024). – Текст: электронный.
4. Петровский, В. С. Теория автоматического управления : учебное пособие / В. С. Петровский. – Воронеж : ВГЛТУ, 2010. – 247 с. – URL: <https://e.lanbook.com/book/55735>. (дата обращения 31.01.2024). – Текст: электронный.
5. Федосенков, Б. А. Теория автоматического управления: классические и современные разделы : учебное пособие / Б. А. Федосенков. – Кемерово : КемГУ, 2018. – 322 с. – ISBN 978-5-8353-2207-7. – URL: <https://e.lanbook.com/book/107707>. (дата обращения 31.01.2024). – Текст: электронный.

Приложение 1

Варианты структурных схем

Вариант	Схема
1	
2	
3	
4	
5	
6	





Приложение 2

Передаточные функции звеньев и значения параметров

W_1 определяется из уравнения $a_2\ddot{y}(t) + a_1\dot{y}(t) + a_0y(t) = b_1\dot{u}(t) + b_0u(t)$.

$$W_2 = \frac{T_1 p}{T_2 p + 1}.$$

$$W_3 = \frac{K_1}{T_3 p + 1}.$$

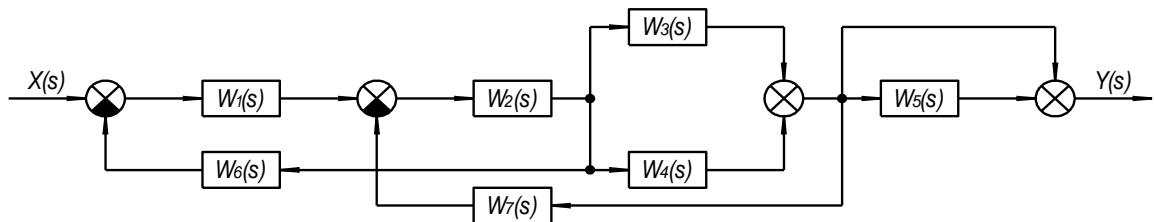
$$W_4 = K_2.$$

Вариант	Параметр									
	a_0	a_1	a_2	b_0	b_1	T_1	T_2	T_3	K_1	K_2
1	0.5	1	2	8.5	9	3	1	5	10	90
2	1	1.5	2.5	8	8.5	2	2	4	15	85
3	1.5	2	3	7.5	8	1	3	3	20	80
4	2	2.5	3.5	7	7.5	3	4	2	25	75
5	2.5	3	4	6.5	7	2	5	1	30	70
6	3	3.5	4.5	6	6.5	1	1	5	35	65
7	3.5	4	5	5.5	6	3	2	4	40	60
8	4	4.5	5.5	5	5.5	2	3	3	45	55
9	4.5	5	6	4.5	5	1	4	2	50	50
10	5	5.5	6.5	4	4.5	3	5	1	55	45
11	5.5	6	7	3.5	4	2	1	5	60	40
12	6	6.5	7.5	3	3.5	1	2	4	65	35
13	6.5	7	8	2.5	3	3	3	3	70	30
14	7	7.5	8.5	2	2.5	2	4	2	75	25
15	7.5	8	9	1.5	2	1	5	1	80	20
16	8	8.5	9.5	1	1.5	3	1	5	85	15
17	8.5	9	10	0.5	1	2	2	4	90	10

Приложение 3

Пример выполнения расчетно-графического раздела

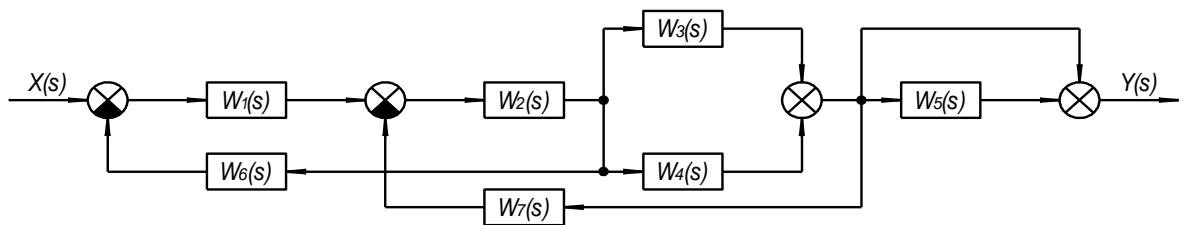
Имеется структурная схема САУ следующего вида.



где

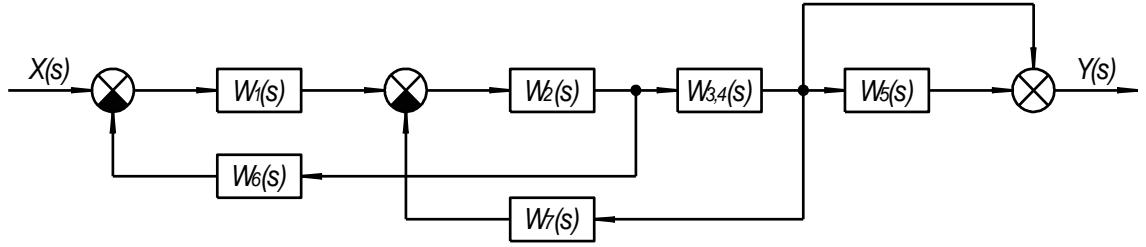
$$\begin{aligned}
 k_1 &= 1 & T_3 &= 1 & W_1(s) &= k_1 & W_5(s) &= \frac{k_5}{T_5^2 \cdot s^2 + 2 \cdot \xi \cdot T_5 \cdot s + 1} \\
 k_2 &= 1 & T_5 &= 1 & W_2(s) &= \frac{k_2}{s} & W_6(s) &= \frac{k_6 \cdot s}{T_6 \cdot s + 1} \\
 k_3 &= 1 & T_6 &= 1 & W_3(s) &= \frac{k_3}{T_3 \cdot s + 1} & W_7(s) &= \frac{k_7}{(T_7 \cdot s + 1) \cdot (T_8 \cdot s + 1)} \\
 k_4 &= 1 & T_7 &= 1 & W_4(s) &= k_4 \cdot s \\
 k_5 &= 1 & T_8 &= 1 \\
 k_6 &= 1 & \xi &= 1 \\
 k_7 &= 1
 \end{aligned}$$

1. Получение эквивалентной функции системы



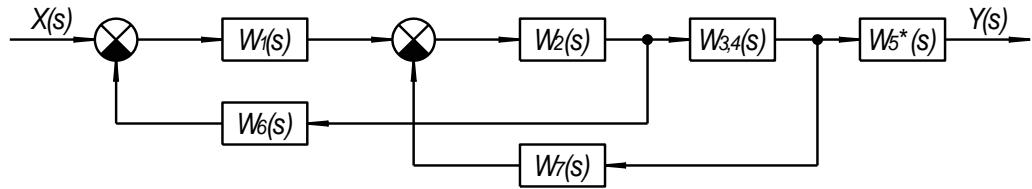
Воспользуемся эквивалентными преобразованиями.

Объединяем звено $W_3(s)$ и $W_4(s)$ в $W_{3,4}(s)$



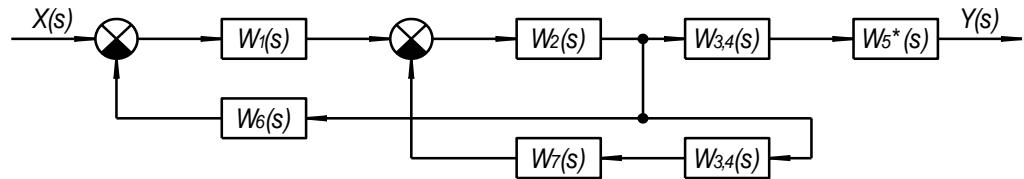
$$W_{34} := W_3 + W_4$$

Убираем сумматор, учитывая его в звене $W_5^*(s)$

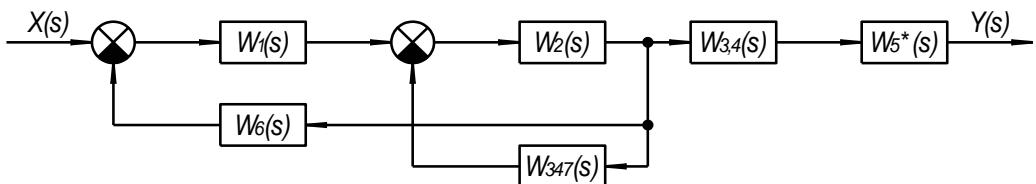


$$W_{5x} := I + W_5$$

Переносим узел находящийся между $W_{3,4}(s)$ и $W_5^*(s)$



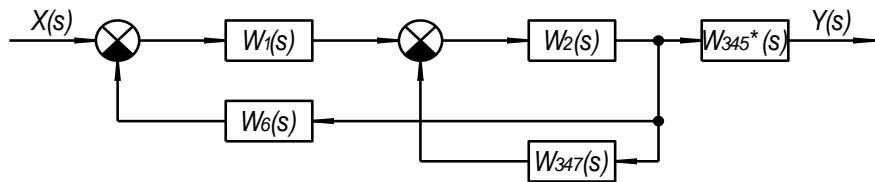
Объединяем звено $W_{3,4}(s)$ и $W_7(s)$ в звено $W_{347}(s)$



$$W_{347} := W_{34} \cdot W_7$$

$$W_{347} \text{ simplify } \rightarrow (W_3 + W_4) \cdot W_4$$

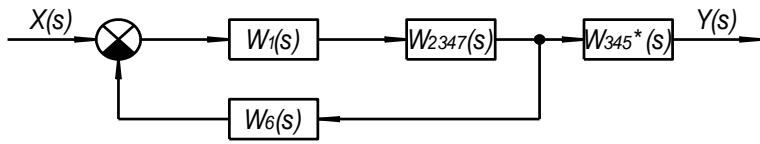
Объединяем звено $W_{3,4}(s)$ и $W_5^*(s)$ в звено $W_{345}^*(s)$



$$W_{345x} := W_{34} \cdot W_{5x}$$

$$W_{345x} \text{ simplify } \rightarrow (W_3 + W_4) \cdot (I + W_5)$$

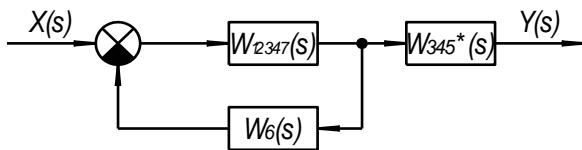
Объединяем звено $W_2(s)$ и $W_{347}(s)$ в звено $W_{2347}(s)$



$$W_{2347} := \frac{W_2}{1 + W_2 \cdot W_{347}}$$

$$W_{2347} \text{ simplify} \rightarrow \frac{W_2}{1 + W_2 \cdot (W_3 + W_4) \cdot W_7}$$

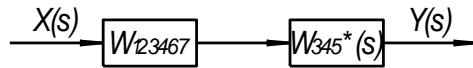
Объединяем звено $W_1(s)$ и $W_{2347}(s)$ в звено $W_{12347}(s)$



$$W_{12347} := W_1 \cdot W_{2347}$$

$$W_{2347} \text{ simplify} \rightarrow \frac{W_1 \cdot W_2}{1 + W_2 \cdot (W_3 + W_4) \cdot W_7}$$

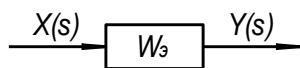
Объединяем звено $W_6(s)$ и $W_{12347}(s)$ в звено $W_{123467}(s)$



$$W_{123467} := \frac{W_{12347}}{1 + W_6 \cdot W_{12347}}$$

$$W_{23467} \text{ simplify} \rightarrow \frac{W_1 \cdot W_2}{1 + W_2 \cdot (W_3 + W_4) \cdot W_7 + W_1 \cdot W_2 \cdot W_6}$$

Объединяем звено $W_{345}(s)$ и $W_{123467}(s)$ в звено $W_9(s)$



$$W := W_{345} \cdot W_{12347}$$

$$W \text{ simplify} \rightarrow \frac{W_1 \cdot W_2 \cdot (W_3 + W_4) \cdot (1 + W_5)}{1 + W_2 \cdot (W_3 + W_4) \cdot W_7 + W_1 \cdot W_2 \cdot W_6}$$

Подставим числовые значения, тем самым, задав начальные данные

$$\begin{aligned}
W1 &:= 1 \\
W2 &:= \frac{1}{s} \\
W3 &:= \frac{1}{1 \cdot s + 1} \\
W4 &:= 1 \cdot s
\end{aligned}
\quad
\begin{aligned}
W5 &:= \frac{1}{1 \cdot s^2 + 2 \cdot s + 1} \\
W6 &:= \frac{1 \cdot s}{1 \cdot s + 1} \\
W7 &:= \frac{1}{(1 \cdot s + 1) \cdot (1 \cdot s + 1)}
\end{aligned}$$

$$W \text{ simplify} \rightarrow \frac{(s^2 + 2 \cdot s + 2) \cdot (s^2 + s + 1)}{s^4 + 4 \cdot s^3 + 6 \cdot s^2 + 3 \cdot s + 1}$$

2. Построение АЧХ, ФЧХ, АФЧХ и ЛАЧХ

Произведем разбиение

$$W(s) := \frac{a(s)}{b(s)}$$

$$a(s) := (s^2 + 2 \cdot s + 2) \cdot (s^2 + s + 1)$$

$$a(s) \text{ expend} \rightarrow s^4 + 3 \cdot s^3 + 5 \cdot s^2 + 4 \cdot s + 2$$

$$a(s) := s^4 + 3 \cdot s^3 + 5 \cdot s^2 + 4 \cdot s + 2$$

$$b(s) := s^4 + 4 \cdot s^3 + 6 \cdot s^2 + 3 \cdot s + 1$$

Произведем замену s на $j \cdot \omega$.

$$j := \sqrt{-1}$$

$$a(\omega) := a(s) \text{ substitute}, s = j \cdot \omega \rightarrow \omega^4 - 3 \cdot j \cdot \omega^3 - 5 \cdot \omega^2 + 4 \cdot j \cdot \omega + 2$$

$$A(\omega) := \operatorname{Re}(a(s)) \text{ complex} \rightarrow \omega^4 - 5 \cdot \omega^2 + 2$$

$$B(\omega) := \operatorname{Im}(a(s)) \text{ complex} \rightarrow -3 \cdot \omega^3 + 4 \cdot \omega$$

$$b(\omega) := b(s) \text{ substitute}, s = j \cdot \omega \rightarrow \omega^4 - 4 \cdot j \cdot \omega^3 - 6 \cdot \omega^2 + 3 \cdot j \cdot \omega + 1$$

$$C(\omega) := \operatorname{Re}(b(s)) \text{ complex} \rightarrow \omega^4 - 6 \cdot \omega^2 + 1$$

$$D(\omega) := \operatorname{Im}(b(s)) \text{ complex} \rightarrow -4 \cdot \omega^3 + 3 \cdot \omega$$

Выделяем вещественную часть.

$$U(\omega) := \frac{A(\omega) \cdot C(\omega) + B(\omega) \cdot D(\omega)}{C(\omega)^2 + D(\omega)^2} \text{ simplify} \rightarrow \frac{\omega^8 + \omega^6 + 8 \cdot \omega^4 - 5 \cdot \omega^2 + 2}{\omega^8 + 4 \cdot \omega^6 + 14 \cdot \omega^4 - 3 \cdot \omega^2 + 1}$$

Выделяем мнимую часть.

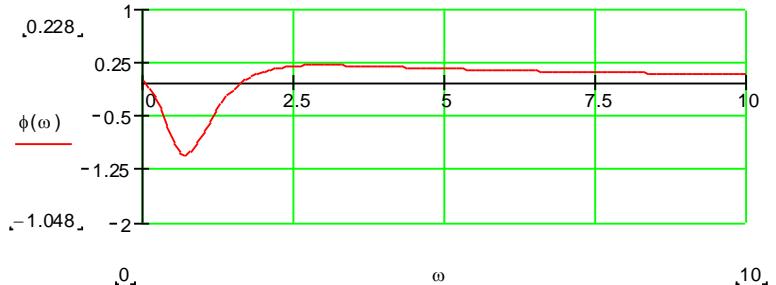
$$V(\omega) := \frac{B(\omega) \cdot C(\omega) - A(\omega) \cdot D(\omega)}{C(\omega)^2 + D(\omega)^2} \underset{\text{simplify}}{\rightarrow} \frac{\omega^7 - \omega^5 - 4 \cdot \omega^3 - 2 \cdot \omega}{\omega^8 + 4 \cdot \omega^6 + 14 \cdot \omega^4 - 3 \cdot \omega^2 + 1}$$

Определяем функцию

ФЧХ и строим ее
график.

$$\omega := 0,0.1..10$$

$$\varphi(\omega) := \operatorname{atan}\left(\frac{V(\omega)}{U(\omega)}\right)$$

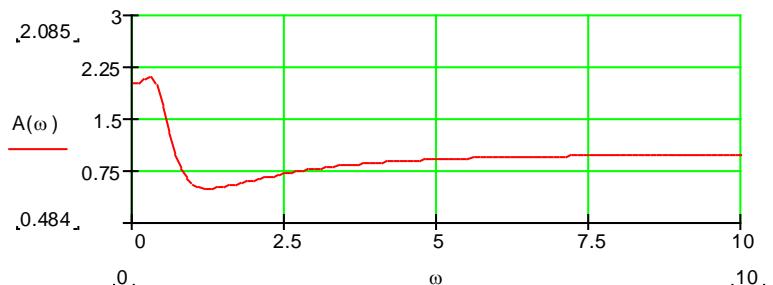


Определяем функцию

АЧХ и строим ее
график.

$$\omega := 0,0.1..10$$

$$A(\omega) := \sqrt{U(\omega)^2 + V(\omega)^2}$$

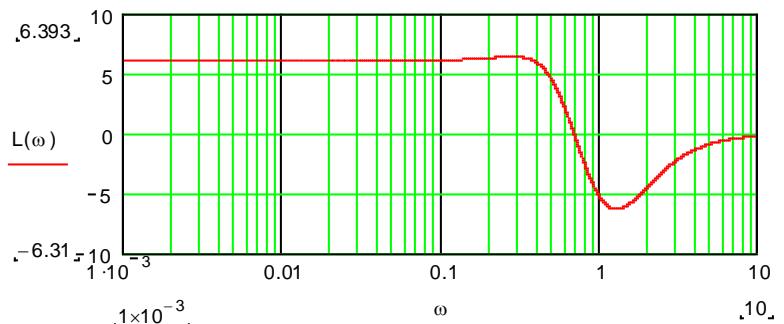


Определяем функцию

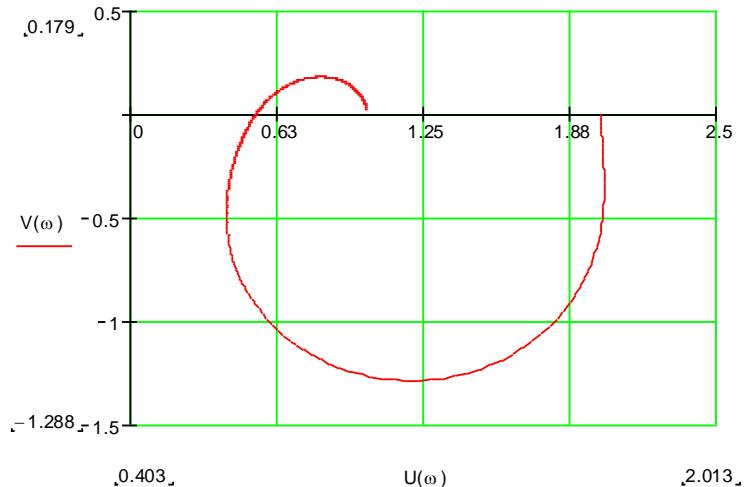
ЛАЧХ и строим ее
график.

$$\omega := 0,0.001..10$$

$$L(\omega) := 20 \cdot \log(A(\omega))$$



Строим АФЧХ
(зависимость $V(\omega)$ от
 $U(\omega)$).
 $\omega := 0, 0.01..10$



3. Определение устойчивости по критерию Гурвица

Характеристическое уравнение будет иметь вид

$$D(s) := s^4 + 4 \cdot s^3 + 6 \cdot s^2 + 3 \cdot s + 1$$

Найдем коэффициенты характеристического уравнения

$$a_4 := 1; a_3 := 4; a_2 := 6; a_1 := 3; a_0 := 1$$

Составим определитель Гурвица

$$\Delta := \begin{pmatrix} a_4 & a_2 & a_0 & 0 \\ 0 & a_3 & a_1 & 0 \\ 0 & a_4 & a_2 & a_0 \\ 0 & 0 & a_3 & a_1 \end{pmatrix}$$

$$|\Delta| = 47$$

Найдем определители главных миноров

$$\Delta 1 := (a_4)$$

$$|\Delta 1| = 1$$

$$\Delta 2 := \begin{pmatrix} a_4 & a_2 \\ 0 & a_3 \end{pmatrix}$$

$$|\Delta 2| = 4$$

$$\Delta 3 := \begin{pmatrix} a_4 & a_2 & a_0 \\ 0 & a_3 & a_1 \\ 0 & a_4 & a_2 \end{pmatrix}$$

$$|\Delta 3| = 21$$

$$\Delta 4 := \begin{pmatrix} a_4 & a_2 & a_0 & 0 \\ 0 & a_3 & a_1 & 0 \\ 0 & a_4 & a_2 & a_0 \\ 0 & 0 & a_3 & a_1 \end{pmatrix}$$

$$|\Delta 4| = 47$$

Система устойчива, т.к. главные миноры больше 0.

4. Определение устойчивости по критерию Михайлова

Характеристическое уравнение будет иметь вид

$$D(s) := s^4 + 4 \cdot s^3 + 6 \cdot s^2 + 3 \cdot s + 1$$

Произведем замену s на $j\omega$.

$$j := \sqrt{-1}$$

$$D(\omega) := D(s) \text{ substitute, } s = j \cdot \omega \rightarrow \omega^4 - 4 \cdot j \cdot \omega^3 - 6 \cdot \omega^2 + 3 \cdot j \cdot \omega + 1$$

Выделяем вещественную часть.

$$U(\omega) := \operatorname{Re}(D(\omega)) \text{ complex} \rightarrow \omega^4 - 6 \cdot \omega^2 + 1$$

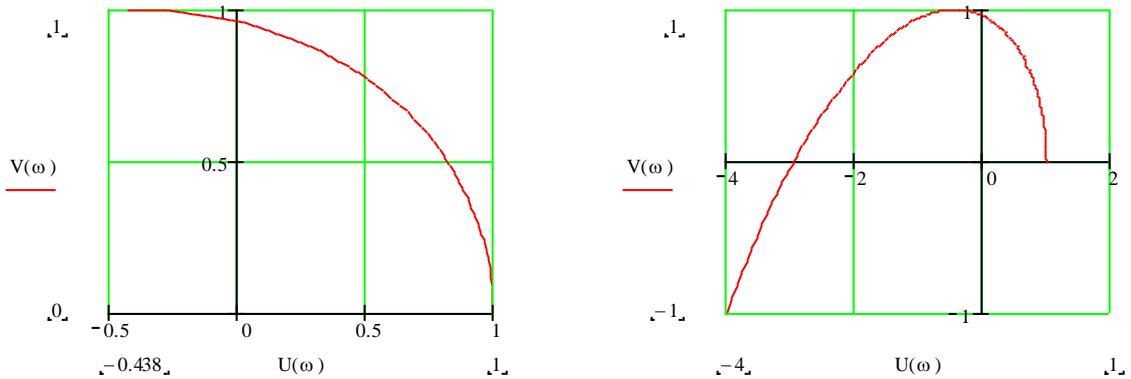
Выделяем мнимую часть.

$$V(\omega) := \operatorname{Im}(D(\omega)) \text{ complex} \rightarrow -4 \cdot \omega^3 + 3 \cdot \omega$$

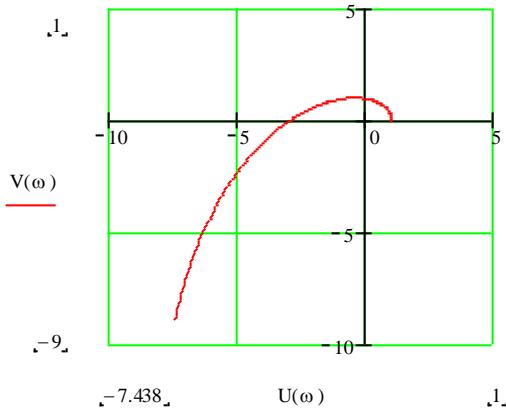
Строим годограф Михайлова

$$\omega := 0, 0.001..0.5$$

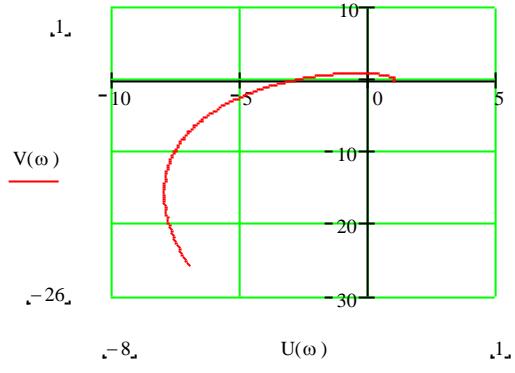
$$\omega := 0, 0.001..1$$



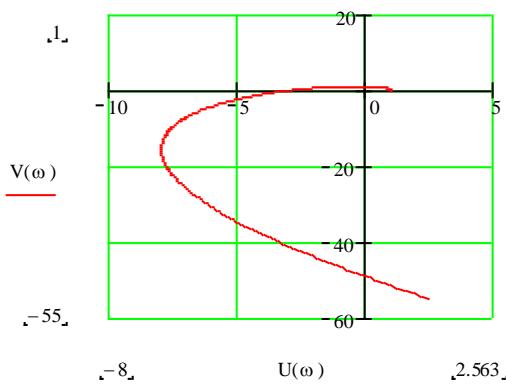
$$\omega := 0, 0.001..1.5$$



$$\omega := 0, 0.001..2$$



$$\omega := 0, 0.001..2.5$$



Система устойчива, т.к. годограф Михайлова уходит в бесконечность во 4-м квадранте.

5. Построение переходного процесса разомкнутой системы при помощи обратного преобразования Лапласа

Уравнение замкнутой системы (см. п. 1).

$$W(s) := \frac{(s^2 + 2 \cdot s + 2) \cdot (s^2 + s + 1)}{s^4 + 4 \cdot s^3 + 6 \cdot s^2 + 3 \cdot s + 1}$$

Найдем уравнение разомкнутой системы.

$$Wr(s) := \frac{W(s)}{1 - W(s)} \underset{\text{simplify}}{\rightarrow} \frac{(s^2 + 2 \cdot s + 2) \cdot (s^2 + s + 1)}{s^3 + s^2 - s - 1}$$

Произведем обратное преобразование Лапласа.

$$Wr(s) \text{ invlaplace}, s \rightarrow 3 \cdot \Delta(t) + \frac{15}{4} \cdot \exp(t) - \frac{1}{2} \cdot t \cdot \exp(-t) + \frac{1}{4} \cdot \exp(-t)$$

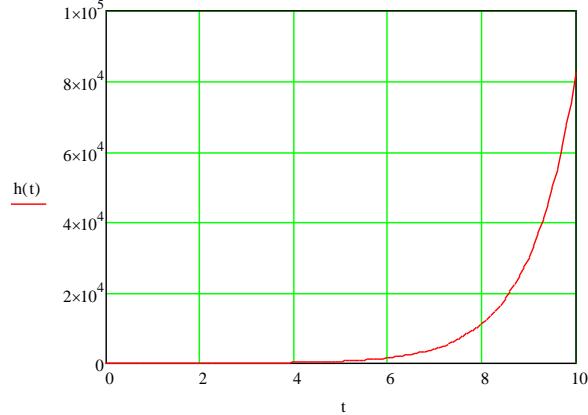
Определим дельта - функцию или функцию Дирака.

$$\Delta(t) := \begin{cases} 0 & \text{if } t \neq 0 \\ 1 & \text{if } t = 0 \end{cases}$$

Определяем функцию переходного процесса и строим график.

$$h(t) := 3 \cdot \Delta(t) + \frac{15}{4} \cdot \exp(t) - \frac{1}{2} \cdot t \cdot \exp(-t) + \frac{1}{4} \cdot \exp(-t)$$

$$t := 0, 0.1..10$$



Разомкнутая система не устойчива, т.к. график уходит в бесконечность.