

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Романчук Иван Сергеевич  
Должность: Ректор  
Дата подписания: 23.11.2022 17:33:50  
Уникальный программный ключ:  
e68634da050325a9234284dd96b4f0f8b268e139

**ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет»**  
**Тобольский педагогический институт им. Д.И.Менделеева (филиал)**  
**Тюменского государственного университета**

УТВЕРЖДЕНО  
Заместителем директора филиала  
Шитиковым П.М.  
РАЗРАБОТЧИК  
Алексеевнина А.К.

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
**ОП.08. ОСНОВЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ**  
для обучающихся по программе подготовки специалистов среднего звена  
15.02.10 Мехатроника и мобильная робототехника (по отраслям)  
(базовая подготовка)  
форма обучения очная

Алексеевнина Альбина Камаловна. Основы автоматического управления. Фонд оценочных средств дисциплины для обучающихся по программе подготовки специалистов среднего звена 15.02.10 Мехатроника и мобильная робототехника (по отраслям). Форма обучения – очная. Тобольск, 2022.

Фонд оценочных средств дисциплины разработан на основе ФГОС СПО по специальности 15.02.10 Мехатроника и мобильная робототехника (по отраслям), утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации 09 декабря 2016 года, № 1550, на основе примерной основной образовательной программы, регистрационный номер в реестре 170828 от 17 апреля 2017 года.

© Тобольский педагогический институт им. Д.И. Менделеева (филиал) Тюменского государственного университета, 2022

© Алексеевнина Альбина Камаловна

## СОДЕРЖАНИЕ

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ФОНДОВ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ.....	3
2. ПАСПОРТ ФОНДА ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ.....	5
3. ТИПОВЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ.....	6

## 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ФОНДОВ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

### 1.1. Область применения программы

Фонд оценочных средств дисциплины «Основы автоматического управления» является частью программы подготовки специалистов среднего звена в соответствии с ФГОС СПО по специальности 15.02.10 Мехатроника и мобильная робототехника (по отраслям).

Фонд оценочных средств учебной дисциплины «Основы автоматического управления» может быть использован в профессиональной подготовке студентов по квалификации – техник-мехатроник (специалист по мобильной робототехнике).

### 1.2. Место дисциплины в структуре программы подготовки специалистов среднего звена

Дисциплина «Основы автоматического управления» входит в общепрофессиональный учебный цикл.

### 1.3. Цели и задачи дисциплины – требования к результатам освоения дисциплины

В результате освоения дисциплины обучающийся должен знать:

В результате освоения дисциплины обучающийся должен знать:

31. Основы автоматического управления;
  32. Методы визуализации процессов управления и работы мехатронных систем;
  33. Методы отладки программ управления ПЛК
  34. Правила техники безопасности при отладке программ управления мехатронными системами
  35. Методы оптимизации работы компонентов и модулей мехатронных систем
  36. Решаемые задачи, области применения, обобщенный состав и классификация мобильных роботов;
  37. Особенности управления мобильными роботами, устройство управления роботом;
  38. Загрузка, установка и выполнение всех требуемых физических и программных настроек, необходимых для эффективного использования всего оборудования, поставляемого производителями
  39. Определение конкретных блоков аппаратного обеспечения (различные датчики и т.п.), необходимые для обеспечения функционирования робота;
  310. Интегрирование датчиков в свою дополнительную конструкцию (прототип) и для управления ходом выполнения поставленной задачи
  311. Основные методы проектирования мобильных роботов;
  312. Разработка стратегии выполнения заданий по мобильной робототехнике, включая приемы ориентации и навигации, используя предложенное оборудование
  313. Интегрирование разработанной системы управления в базовый блок управления мобильным роботом
  314. Основные понятия и концепции методов робототехники в динамике мобильных роботов, важнейшие теоремы теории методов робототехники и их следствия, порядок применения теории методов робототехники в важнейших практических приложениях
- В результате освоения дисциплины обучающийся должен уметь:
- У1. Разрабатывать алгоритмы управления мехатронными системами;
  - У2. Визуализировать процесс управления и работу мехатронных систем;
  - У3. Проводить отладку программ управления мехатронными системами и визуализации процессов управления и работы мехатронных систем
  - У4. Выполнять работы по испытанию мехатронных систем после наладки и монтажа

У5. Выбирать наиболее оптимальные модели управления мехатронными системами;

У6. Оптимизировать работу мехатронных систем по различным параметрам

У7 Осуществлять настройку датчиков различного типа при проектировании мобильных роботов

У8. Интерпретировать навыки построения проектной документации мобильного робота при помощи соответствующего теоретического аппарата;

У9. Применять основные навыки при конструировании типовых алгоритмов управления мобильным роботом

В результате освоения дисциплины обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

ПК 1.2. Осуществлять настройку и конфигурирование программируемых логических контролеров и микропроцессорных систем в соответствии с принципиальными схемами подключения.

ПК 1.3. Разрабатывать управляющие программы мехатронных систем в соответствии с техническим заданием.

ПК 3.3. Оптимизировать работу компонентов и модулей мехатронных систем в соответствии с технической документацией.

ПК 4.2. Разрабатывать управляющие программы мобильных робототехнических комплексов в соответствии с техническим заданием.

ПК 4.3. Осуществлять настройку датчиков и исполнительных устройств мобильных робототехнических комплексов в соответствии с управляющей программой и техническим заданием

ПК 5.1. Разрабатывать конструкции и схемы электрических подключений компонентов и моделей нескольких мобильных робототехнических комплексов в соответствии с техническим заданием.

ПК 5.2. Выполнять сборку и монтаж компонентов и модулей мобильных робототехнических комплексов в соответствии с технической документацией.

ПК 5.3. Осуществлять техническое обслуживание компонентов и модулей мобильных робототехнических комплексов в соответствии с технической документацией

ПК 5.4. Диагностировать неисправности мобильных робототехнических комплексов с использованием алгоритмов поиска и устранения неисправностей.

ПК 5.5. Производить замену и ремонт компонентов и модулей мобильных робототехнических комплексов в соответствии с технической документацией

Код ПК, ОК	Умения	Знания
<b>ПК 1.2</b>	У1. Разрабатывать алгоритмы управления мехатронными системами; У2. Визуализировать процесс управления и работу мехатронных систем; У3. Проводить отладку программ управления мехатронными системами и визуализации процессов управления и работы мехатронных систем	31. Основы автоматического управления; 32. Методы визуализации процессов управления и работы мехатронных систем; 33. Методы отладки программ управления ПЛК
<b>ПК 1.3</b>	У4. Выполнять работы по испытанию мехатронных систем после наладки и монтажа	34. Правила техники безопасности при отладке программ управления мехатронными системами
<b>ПК 3.3</b>	У5. Выбирать наиболее оптимальные модели управления мехатронными системами; У6. Оптимизировать работу мехатронных систем по различным параметрам	35. Методы оптимизации работы компонентов и модулей мехатронных систем
<b>ПК 4.2</b>		36. Решаемые задачи, области применения, обобщенный состав и классификация мобильных роботов; 37. Особенности управления мобильными роботами, устройство управления роботом; 38. Загрузка, установка и выполнение всех требуемых физических и программных настроек, необходимых для эффективного использования всего оборудования, поставляемого производителями
<b>ПК 4.3</b>	У7. Осуществлять настройку датчиков различного типа при проектировании мобильных роботов	39. Определение конкретных блоков аппаратного обеспечения (различные датчики и т.п.), необходимые для обеспечения функционирования робота;
<b>ПК 5.1</b>	У8. Интерпретировать навыки построения проектной документации мобильного робота при помощи соответствующего теоретического аппарата;	310. Интегрирование датчиков в свою дополнительную конструкцию (прототип) и для управления ходом выполнения поставленной задачи
<b>ПК 5.2</b>	У9. Применять основные навыки при конструировании типовых алгоритмов управления мобильным роботом	311. Основные методы проектирования мобильных роботов;
<b>ПК 5.3</b>		312. Разработка стратегии выполнения заданий по мобильной робототехнике, включая приемы ориентации и навигации, используя предложенное оборудование
<b>ПК 5.4</b>		313. Интегрирование разработанной системы управления в базовый блок управления мобильным роботом
<b>ПК 5.5</b>		314. Основные понятия и концепции методов робототехники в динамике мобильных роботов, важнейшие теоремы теории методов робототехники и их следствия, порядок применения теории методов робототехники в важнейших практических приложениях

## 2. ПАСПОРТ ФОНДА ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

п/п	Темы дисциплины, МДК, разделы (этапы) практики, в ходе текущего контроля, вид промежуточной аттестации с указанием семестра	Код контролируемой компетенции (или её части), знаний, умений	Наименование оценочного средства (с указанием количества вариантов, заданий и т.п.)
Раздел 1. Статика и динамика элементов систем автоматического управления			
1.	Тема 1.1 Основные понятия о САУ	31-34, 313, 314, У1-У6, ПК 1.2, ПК 1.3, ПК 3.3, ПК 5.4, ПК 5.5	Контрольные вопросы по трансформаторам (26 вопросов). Тест (10 вопроса) Практические работы № 1-9
2.	Тема 1.2 Типовые элементарные звенья, свойства и характеристики звеньев и систем		
3.	Тема 1.3 Передаточные функции соединений звеньев и систем		
4.	Тема 1.4 Свойства объектов управления с сосредоточенными параметрами и их определения		
5.	Тема 1.5 Управляющие устройства		
Раздел 2. Линейные автоматические системы управления			
6.	Тема 2.1 Передаточные функции замкнутых систем	31- 314, У1-У9, ПК 1.2, ПК 1.3, ПК 3.3, ПК 4.2, ПК 4.3, ПК 5.1, ПК 5.2, ПК 5.3 ПК 5.4, ПК 5.5	Контрольные вопросы по электрическим машинам постоянного тока (16 вопросов). Тест (26 вопросов). Практические работы № 10-12
7.	Тема 2.2 Устойчивость систем автоматического управления		
8.	Тема 2.3 Качество систем автоматического управления		
9.	Тема 2.4 Коррекция линейных систем автоматического управления.		
Раздел 3. Дискретные САУ			
10.	Тема 3.1 Основные понятия и определения дискретных САУ	31-34, 36- 314, У1-У4, У6-У9, ПК 1.2, ПК 1.3, ПК 4.2, ПК 4.3, ПК 5.1, ПК 5.2, ПК 5.3 ПК 5.4, ПК 5.5	Контрольные вопросы по электрическим машинам переменного тока (16 вопросов). Контрольная работа (10 вариантов).
11.	Тема 3.2 Анализ дискретных САУ		
12.	Промежуточная аттестация в 6 семестре	31- 314, У1-У9, ПК 1.2, ПК 1.3, ПК 3.3, ПК 4.2, ПК 4.3, ПК 5.1, ПК 5.2, ПК 5.3 ПК 5.4, ПК 5.5	Дифференцированный зачет (66 вопросов)

## 3. ТИПОВЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Раздел 1. Статика и динамика элементов систем автоматического управления	31-34, 313, 314, У1-У4, ПК 1.2, ПК 1.3, ПК 3.3, ПК 5.4, ПК 5.5
--	--

**Перечень контрольных вопросов**

Что такое объект управления и каковы различия его технологических и регулируемых параметров?

2. Чем отличается система автоматического управления от системы ручного регулирования?

3. Что такое возмущающие воздействия, входные и выходные сигналы САУ?

4. Поясните общую функциональную схему технологического процесса.

5. Поясните функциональную схему закаливания металла в электропечи.

6. Поясните схему и назначение основных элементов САУ процессом закаливания металла.

7. Поясните схему и назначение элементов системы автоматического регулирования уровня жидкости.

8. Поясните схему и назначение основных устройств замкнутой САУ уровнем жидкости.

9. В чем состоит различие разомкнутой и замкнутой САУ числом оборотов электродвигателя? Поясните назначение элементов этих САУ.

10. Поясните типовую функциональную схему САУ и назначение всех ее элементов.

11. На какие виды подразделяют САУ по классам дифференциальных уравнений?

12. Как классифицируются САУ по принципу действия? Приведите примеры таких САУ.

13. Дайте определение типового динамического звена.

14. Почему типовые динамические звенья так подробно изучают?

15. Перечислите динамические звенья, которые относят к типовым (элементарным).

16. Как по передаточной функции определить импульсную характеристику динамического звена?

17. Как по передаточной функции определить переходную характеристику динамического звена?

18. Как по передаточной функции определить частотную характеристику динамического звена?

19. Какое типовое звено смещает гармонический сигнал любой частоты на угол в сторону запаздывания?

20. Какое типовое звено смещает гармонический сигнал любой частоты на угол в сторону опережения?

21. Какое типовое звено не изменяет фазу гармонического сигнала любой частоты?

22. Какое соединение динамических звеньев называется последовательным?

23. Вывод передаточной функции для последовательного соединения динамических звеньев.

24. Какое соединение динамических звеньев называется параллельным?

25. Вывод передаточной функции для параллельного соединения динамических звеньев.



26. Какое соединение динамических звеньев называется встречнопараллельным?

### Тестирование

1. Что изучает теория управления?
  - а) принципы и методы построения автоматических систем
  - в) свойства объектов управления
  - с) характеристики регуляторов
2. В статических системах ошибка на установившемся режиме при единичном скачкообразном входном воздействии
  - а) равна нулю
  - в) зависит от коэффициента усиления системы
  - с) зависит от динамических характеристик регулятора
3. В астатических системах ошибка на установившемся режиме при единичном скачкообразном входном воздействии
  - а) равна нулю
  - в) зависит от коэффициента усиления системы
  - с) зависит от динамических характеристик регулятора
4. Что такое статическая характеристика
  - а) зависимость выходной величины от входной
  - в) зависимость выходной величины от входной на установившемся режиме
  - с) это выходная величина
5. Режим, при котором, входные и выходные сигналы элемента а также все внутренние звенья остаются постоянными
  - а) Установившиеся;
  - в) Переходной;
  - с) Астатический.
6. Статические характеристики различают
  - а) Линейные нелинейные;
  - б) Линейные;
  - с) Линейные нелинейные, релейные.
7. Статическая характеристика, у которой, входная величина может принимать определенные значения, а также иметь гистерезис:
  - а) Не линейная характеристика;
  - б) Релейная характеристика;
  - с) Линейная характеристика.
8. Основные способы соединения элементов:
  - а) Смешанное, параллельное, последовательное;
  - б) Последовательное, параллельное;
  - с) Последовательное, параллельное, противовключением.

*Закончите утверждение, вписав недостающую информацию:*

5. Установившийся режим описывается \_\_\_\_\_.
6. Переходной режим описывается \_\_\_\_\_.
7. Функциональная зависимость, теоретическая линия регрессии определяет \_\_\_\_\_.

*Расшифруйте аббревиатуры встречаемых обозначений:*

8. ООС \_\_\_\_\_.
9. ПОС \_\_\_\_\_.
10. САР \_\_\_\_\_.

### Содержание практических работ

#### Практическое работа №1

**Тема:** Построение структурных и функциональных схем технологических процессов.

**Цель работы:** Научиться читать и составлять простейшие структурные и функциональные схемы автоматических систем.

#### Теоретические сведения.

Информацию, подлежащую передаче, называют сообщением. В автоматике сообщением является электрический сигнал (сила тока, напряжение) определённой величины.

Автоматические устройства состоят из элементов, каждый из которых может выполнить одну простейшую операцию с сигналом — носителем информации. Системы автоматике состоят из отдельных, связанных между собой элементов, каждый из которых выполняет определённую функцию. Элемент автоматике можно рассматривать как преобразователь энергии, на вход которого подается сигнал—некоторая величина  $X$ , а с выхода снимается сигнал— величина  $Y$  (рис. 1).



Рис. 1.1 Элемент автоматике.

Элементами автоматике в зависимости от назначения являются: объекты управления; датчики; усилители; устройства управления; исполнительные механизмы; пр. Различные элементы автоматике выполняют каждый свою функцию в управлении технологическим процессом.

**Технологический процесс** — это часть производственного процесса, содержащая действия, выполняемые в определенном порядке для изменения состояния объекта и определения этого состояния. Технологические процессы являются объектами управления.

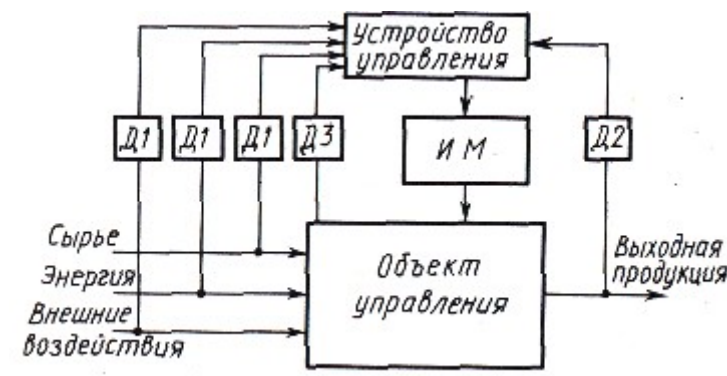


Рис. 1.2. Упрощенная схема управления технологическим процессом

Датчики *Д1* получают информацию о параметрах сырья, энергии и различных внешних воздействий; датчики *Д2*— о параметрах выходной продукции; датчики *Д3*— о текущем состоянии объекта управления.

Эта информация преобразуется датчиками во входные сигналы устройства управления. На основании информации датчиков устройство управления вырабатывает необходимые сигналы управления.

Устройствами, передающими управляющее воздействие, являются исполнительные механизмы *ИМ*. Они осуществляют непосредственное управление работой объекта управления.

Для изучения работы различных автоматических систем управления технологическими процессами используют их структурные, функциональные и принципиальные схемы.

Функциональная и структурная схемы систем автоматики (блок-схемы) используют для наглядности и изображения элементов автоматических систем и их функциональной зависимости. Они показывают общий принцип действия и структуру системы, служат для общего ознакомления с автоматическим устройством и являются основой для составления принципиальных схем.

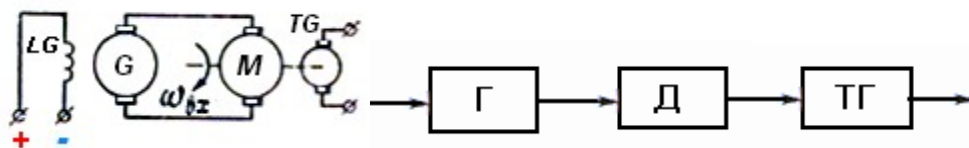
Составные части системы (блоки) представляются геометрическими фигурами (прямоугольниками, кружками), а их взаимодействие — линиями со стрелками. Блоки обозначаются буквами (словами), соответствующими выполняемым ими функциям. Число блоков зависит от детализации функций, выполняемых в системе.

Каждый из видов автоматических систем имеют ряд общих функциональных узлов, позволяющих свести любую систему (управления, контроля, регулирования) к общей функциональной схеме.

*Принципиальная схема* дает подробное представление о работе и структуре автоматической системы.

На этой схеме элементы и связи между ними изображают в виде условных графических обозначений, установленных Государственным стандартом (ГОСТ). Позиционные обозначения устройств или элементов принципиальной схемы также определяются требованиями ГОСТа.

На рис. 3, *а* представлена простейшая принципиальная электрическая схема электропривода с двигателем постоянного тока, питаемым от генератора постоянного тока с независимым возбуждением, и тахогенератором на валу двигателя.



**Рис. 1.3. Схема электропривода: а — принципиальная; б — структурная**

На структурной схеме (рис. 3, *б*) все три элемента системы изображены в виде прямоугольников, а функциональная связь между ними указана стрелками.

Для разработки системы автоматики нужно знать:

Продукт, который мы хотим получить

Операции, которые нужно выполнить для его получения

Порядок выполнения операций

Устройства, необходимые для выполнения этих операций

Промежуточные величины, которые нужно контролировать для получения оптимального результата

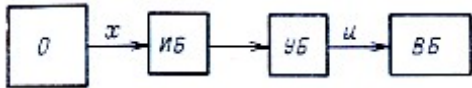
### Ход работы.

#### Задание 1.

1. Запишите признаки структурной и принципиальной схем. Какая из схем является блок-схемой, а какая – принципиальной? На основании каких утверждений вы сделали такой вывод?

#### Схема

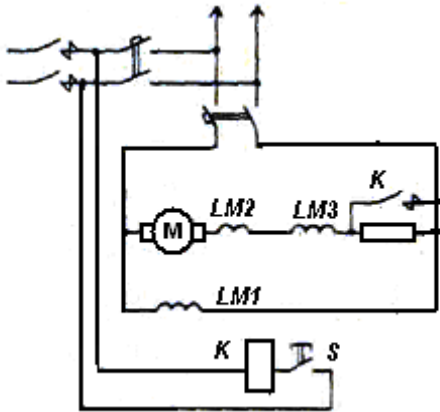
Тип схемы:



#### Признаки

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.
- 5.

Тип схемы: \_\_\_\_\_



**Задание 2.** Составьте функциональную схему технологического процесса по своей профессии

**Задание 3.** Составьте структурную схему по своей профессии

### Контрольные вопросы.

1. Для чего используются в автоматике блок-схемы?
2. Как представляют в блок-схемах составные части системы? направление передачи сигнала?
3. Что означают буквы, написанные внутри блоков структурной схемы?
4. Для чего используют принципиальную схему?
5. Как изображают на принципиальной схеме элементы и связи между ними?
6. Что называется технологическим процессом?
7. Какой тип схемы использован для объяснения технологического процесса? Сколько элементов автоматике работает в данной схеме? Какие функции они выполняют?
8. Какие сигналы для каждого из них являются входными? Выходными?

### Практическое работа №2

**Тема: Написание алгоритма с ветвлением и циклического алгоритма**

**Цель работы:** Научиться составлять простейшие линейные алгоритмы, алгоритмы с ветвлением и циклические алгоритмы

### **Теоретические сведения.**

Автоматизация производства позволяет освободить человека от непосредственного участия в производственных процессах, переложив их выполнение на плечи технических средств. Но для того чтобы «научить» их выполнению какой-либо работы, человеку надо сначала тщательно изучить эту работу самому, осознать цель работы, представить до мелочей каждое действие, понять от каких условий и как оно зависит, и подробно описать порядок выполнения действий.

Современные технические средства во многом превосходят человека – они могут выполнять различные действия быстрее и точнее, работать без усталости, не совершая ошибок продолжительное время. Но каждое действие, даже самое простое (например, вернуться в исходное положение), они могут выполнить только по команде человека.

Следовательно, автоматизацию любого процесса надо начинать с подробного перечня действий, из которых состоит процесс. Такой перечень составляется и записывается по определенным правилам.

**Алгоритм** – это последовательность действий, ведущих к достижению цели. Алгоритм, записанный на понятной машине языке, называется программой.

Алгоритмы, в которых действия выполняются последовательно, одно за другим, называются *линейными алгоритмами*. Алгоритмы, в которых производится выбор одного из нескольких вариантов действий в зависимости от выполнения некоторого условия, называются *алгоритмом с ветвлением, или условными алгоритмами*. Алгоритмы, в которых повторяются одни те же действия, называются *циклическими алгоритмами*. Алгоритмы, целиком и многократно используемые в составе других алгоритмов, называются *вспомогательными алгоритмами*.

Существуют несколько способов записи алгоритмов:

1) Словесная запись – это запись последовательности действий на одном из языков человеческого общения. Он подходит для линейных алгоритмов и используется в повседневной жизни.

2) Графическое представление (блок-схема) – это набор специальных графических символов, расположенных в порядке выполнения действий алгоритма. Начало и конец алгоритма обозначается знаком

Идущая вниз линия означает переход от одного действия к другому. Любое действие алгоритма изображается в прямоугольнике. Если алгоритм содержит несколько действий, выполняемых последовательно одно за другим, то они могут быть вписаны в один прямоугольник.

Проверка выполнения условия и выбор ветви алгоритма представляются ромбом, в который условие вписывается в виде вопроса.

### **Порядок выполнения работы**

**Задание 1.** Напишите блок-схему алгоритма сортировки изделий в двух вариантах (с ветвлением и циклического алгоритма)

**Задание 2.** Напишите блок-схему циклического алгоритма погрузки контейнеров с выполнением одного условия и с выполнением двух условий)

### **Контрольные вопросы.**

1. Сформулируйте определение алгоритма.

2. В чем особенность восприятия алгоритмов машинами?
3. Дайте определение программы.
4. Назовите виды алгоритмов и приведите примеры
5. Расскажите о способах записи алгоритмов
6. Изобразите и поясните графические символы, применяемые для записи алгоритмов.

### Практическая работа №3

**Тема: Изучение генераторных и параметрических датчиков.**

**Цель работы:** Изучить устройство, принцип работы генераторных и параметрических датчиков.

**Теоретические сведения.**

Источниками первичной информации о ходе управляемого процесса являются датчики. Это чувствительные элементы автоматических систем, преобразующие контролируемые величины в выходные сигналы, удобные для передачи или дальнейшей обработки



**Рис. 3.1** Функциональная схема электрического датчика.

Датчик состоит из двух частей: чувствительного элемента и преобразующего устройства.

При любом изменении интенсивности воздействия, воспринимаемого датчиком, происходит соответствующее изменение электрического сигнала датчика.

Основное свойство всякого электрического датчика: величина электрического сигнала в цепи датчика соответствует величине параметра, который контролирует датчик.

В устройствах автоматического контроля датчики служат для измерения величин, характеризующих работу технологического оборудования или качество вырабатываемой продукции.

В устройствах автоматического регулирования на основании сигналов датчиков могут быть изменены параметры технологического процесса.

**Основные параметры датчиков.**

Оценку возможности использования датчиков в различных системах автоматики производят по следующим основным характеристикам: *статическая характеристика; инерционность; порог чувствительности; погрешность.*

**Классификация датчиков.**

По назначению электрические датчики делятся на датчики температуры; перемещения; давления; скорости; положения и т.д.

По способу преобразования энергии – на генераторные и параметрические.

**Генераторные датчики.**

В каждом из генераторных датчиков неэлектрическое воздействие (нагрев, механическое вращение, освещение) непосредственно воспринимается самим датчиком и без вспомогательного электрического источника питания вызывает в его цепи электрический ток.

Генераторные датчики — это устройства, под влиянием неэлектрического воздействия создающие электрический сигнал без вспомогательных источников питания. К ним относятся: термоэлектрические; фотоэлектрические; пьезоэлектрические; тахометрические и т.д.

Величина тока в цепи генераторного датчика зависит от интенсивности неэлектрических воздействий, которым подвергается датчик.

*Термоэлектрические датчики.*

Одним из примеров термоэлектрических датчиков является термопара. Она представляет собой два разнородных проводника, спаянных у одного из концов.



Рис. 3.2. Принцип действия термопары (а); его схема (б).

В основе работы датчика лежит явление термоэлектрического эффекта: если место спая нагреть, а свободные концы термопары присоединить к гальванометру, то между свободными концами датчика возникнет термо-ЭДС. Под действием термо-ЭДС в цепи появится электрический ток, вызывающий отклонение стрелки гальванометра. С увеличением нагрева термопары величина тока в рамке гальванометра соответственно возрастает.

Проводники А и Б термопары могут быть изготовлены из разнородных металлов и их сплавов (медь—константан, платина—копель, вольфрам—молибден и др.).

Значение термо-ЭДС для различных типов термопар составляет от десятых долей Вольт до десятков мВ. Например, для термопары медь—константан она изменяется от  $-4,3\text{ мВ}$  до  $-6,18\text{ мВ}$  при изменении температуры спая от  $+100$  до  $-260\text{ }^\circ\text{C}$ . Использование в термопарах различных металлов позволяет измерять температуру в пределах от  $-200$  до  $+2500\text{ }^\circ\text{C}$ .

Термопары обеспечивают преобразование тепловой энергии в электрическую.

*1. Пьезоэлектрические датчики.*

Принцип действия датчика основан на прямом пьезоэффекте. Он заключается в том, что некоторые материалы (природные — кварц, турмалин; искусственные — сегнетовая соль, титанат бария и др.) при воздействии на них механических нагрузок образуют на гранях своих поверхностей электрические заряды.

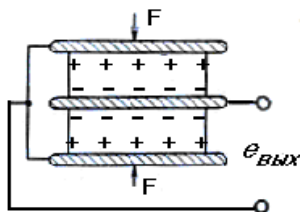


Рис. 3.3 Принцип действия пьезоэлектрического датчика.

Пьезоэлектрические датчики конструктивно представляют собой набор из нескольких пластин, подобранных таким образом, чтобы заряды одноименно заряжающихся плоскостей складывались. Такое конструктивное решение позволяет повысить чувствительность датчика.

В пьезоэлектрических датчиках происходит преобразование переменных механических сил, действующих на датчик, в электрический заряд.

Пьезоэлектрические датчики применяют для измерения характеристик быстропротекающих процессов—вибраций, переменных давлений, усилий и др.

*2. Тахогенераторный датчик.*

Одними из распространенных генераторных датчиков являются маломощные электрические машины, работающие в режиме генератора. Они могут служить в качестве электрического тахометра — прибора для измерения скорости вращения валов. Если ротор такой машины привести во вращение, то на ее щетках возникает напряжение, величина которого будет прямо пропорциональна скорости вращения.

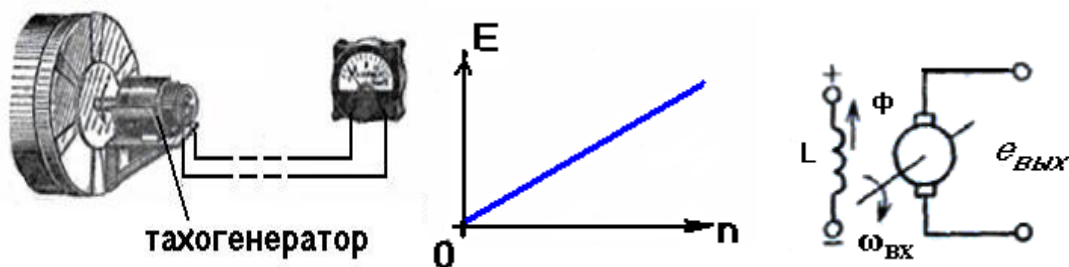


Рис. 3.4 Тахогенераторный датчик (а); его характеристика (б); схема тахогенератора постоянного тока (в).

Тахогенераторный датчик преобразует угловую скорость вращения его вала  $\omega_{ВХ}$  в Э.Д.С. тахогенератора  $e_{ВЫХ}$ .

В зависимости от выходного напряжения различают тахогенераторы постоянного и переменного тока. Эти датчики применяют при автоматизации подъемных установок, конвейерных линий и т.д.

### 3. Фотодатчики.

Фотоэлектрические датчики используются в автоматике для преобразования в электрический сигнал различных неэлектрических величин: механических перемещений, скорости вращения тел, размеров и количества движущихся предметов, освещенности, прозрачности жидкой или газовой сред и т.д.

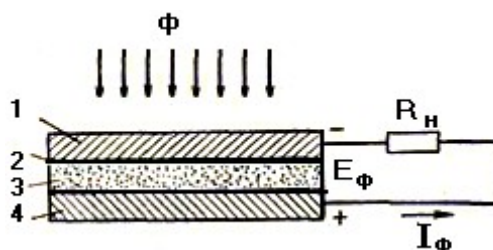


Рис. 3.5 Устройство и схема включения селенового фотоэлемента

Световой поток  $\Phi$ , проходя через полупрозрачную пленку из золота 1 (электрод) и запирающий слой 2, попадает на полупроводник 3 и создает вентильный фотоэффект. Вторым электродом служит стальная пластина 4. Возникшая э. д. с.  $E_{\phi}$  создает ток во внешней электрической цепи с сопротивлением нагрузки  $R_n$ , в качестве которой служит электронный усилитель.

Достоинствами вентильных фотоэлементов являются отсутствие необходимости во внешнем источнике питания и большая чувствительность, недостатками — инерционность, необходимость применения чувствительных усилителей, малый КПД.

В горном деле фотоэлементы применяют как составную часть фотоэлектронных усилителей и реле, используемых в системах автоматического управления наружным освещением, для определения запыленности воздуха, контроля уровня, взаимного положения ковша экскаватора и транспортного средства и т. д.

### Параметрические датчики.

Во второй группе датчиков преобразование входной неэлектрической величины  $\Psi$  в выходную величину, являющуюся параметром электрической цепи (сопротивление, индуктивность, ёмкость) происходит при включении в их цепь источника питания.



Параметрические датчики—это устройства, включаемые в цепь вспомогательного источника питания и изменяющие свое электрическое сопротивление под влиянием того или иного неэлектрического воздействия.

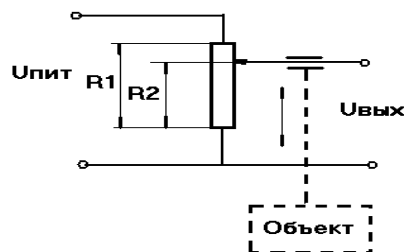
Величина тока в цепи параметрического датчика зависит:  
от интенсивности неэлектрических воздействий, которым подвергается датчик;  
от э. д. с. вспомогательного источника питания.

В технике датчики данного типа применяются в основном для измерения линейных перемещений и углов поворота различных механизмов и приборов. Большинство их включается в цепь с источником постоянной э. д. с.

Электрическим сигналом параметрического датчика является сила тока в цепи датчика.

**1. Датчики активного сопротивления.**

1) Потенциометрический датчик представляет собой переменный резистор (потенциометр), состоящий из плоского, цилиндрического или кольцевого каркаса, на который намотана тонкая проволока из константана или нихрома, и подвижного контакта (щетки), имеющего механическую связь с объектом.

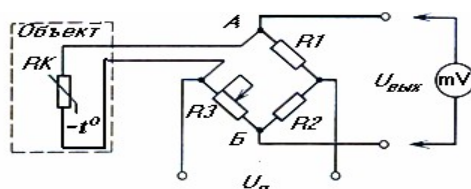


**Рис. 3.6 Потенциометрический датчик**

При перемещении объекта изменяется активное сопротивление цепи, и, следовательно, ток в цепи датчика.

2) Терморезисторные датчики основаны на свойстве воспринимающего элемента—терморезистора изменять своё сопротивление при изменении температуры. Терморезисторы изготавливают из металлов (медь, железо, никель, платина и др.) и полупроводников (смеси окислов металлов — меди, марганца, кобальта, спекаемых при высокой температуре).

Металлический терморезистор выполняется из проволоки, например, медной, диаметром примерно 0,1 мм, намотанной в виде спирали на слюдяной, фарфоровый или кварцевый каркас. Такой терморезистор заключен в защитную трубку с выводными зажимами, которая затем размещается в точке контроля температуры объекта (в корпусе подшипника, двигателя и т. п.).



**Рис. 3.7 Терморезисторный датчик**

При изменении температуры объекта изменяется активное сопротивление выходной цепи.

С ростом температуры  $^{\circ}\text{C}$  сопротивление  $R$  металлических терморезисторов возрастает, а большинства полупроводниковых — уменьшается. Достоинством полупроводниковых терморезисторов является их высокая термочувствительность.

3) *Термисторы.* В термисторах термочувствительный элемент выполнен из полупроводникового материала. Обычно используют смесь оксидов металлов — марганца, титана, никеля и др.

Полупроводниковые терморезисторы изготавливаются в виде небольших стержней и дисков с выводами, размещаемых в защитных металлических чехлах. Например, стержни медно-марганцевого ММТ-1 и кобальто-марганцевого КМТ-1 терморезисторов имеют длину 12 мм и диаметр 1,8 мм. Для защиты от влияния окружающей среды термистор помещают в корпус или покрывают лаком.

#### 2. Индуктивные датчики.

Это датчики, выполненные в виде катушек (из медной проволоки) с ферромагнитными сердечниками.

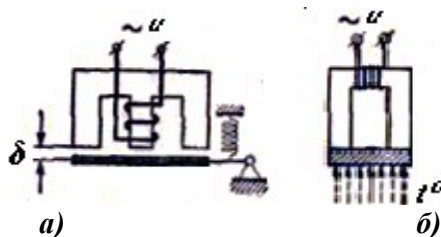


Рис. 3.8 Схемы индуктивных датчиков: а) перемещения; б) термометрического.

В индуктивных датчиках механическое перемещение узла объекта управления, нагрев сердечника или механическое воздействие на него преобразуется в изменение реактивного сопротивления индуктивной катушки дросселя и, следовательно, **силы тока** в цепи датчика.

1) Магнитоупругий датчик (рис. 2.9) основан на свойстве ферромагнитных материалов изменять магнитную проницаемость при их деформации — растяжении (а) или сжатии (б).

Конструктивно магнитоупругий датчик представляет собой катушку 1 с замкнутым магнитопроводом 2. Контролируемое усилие  $P$ , деформируя сердечник, изменяет его магнитную проницаемость и, следовательно, индуктивное сопротивление катушки.

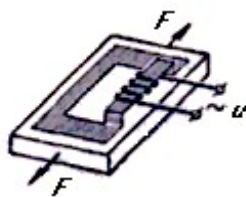


Рис. 3.9 Схема магнитоупругого тензометрического датчика, реагирующего на растяжение.

Магнитоупругие датчики используются для контроля усилий (например, при загрузке скипов и посадке клетей на кулаки), горных давлений и т. п. Такие датчики просты по устройству и надежны в работе.

Герконовые датчики используются для контроля положения объектов. Воспринимающий элемент датчика — геркон представляет собой ампулу 1, внутри которой запаяны контактные пружины (электроды) 2, изготовленные из ферромагнитного материала. Герметичность ампулы исключает вредное воздействие среды на контакты, повышая надежность их работы. Контакты геркона, расположенного в контролируемой точке пространства, замыкаются под действием магнитного поля, которое создается постоянным магнитом или электромагнитом, установленным на подвижном объекте.

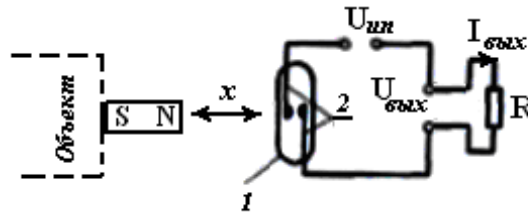


Рис. 3.10 Схема герконового датчика

3. Ёмкостные датчики.

Их обычно выполняют в виде конденсаторов с перемещающимися обкладками (пластинами). Перемещая одну пластину относительно другой, изменяют расстояние между ними или площадь перекрытия пластин (рис.2.12). Ёмкость конденсатора, а, следовательно, и ток в цепи источника переменного напряжения соответственно изменяются. Такие ёмкостные датчики реагируют на механическое перемещение.

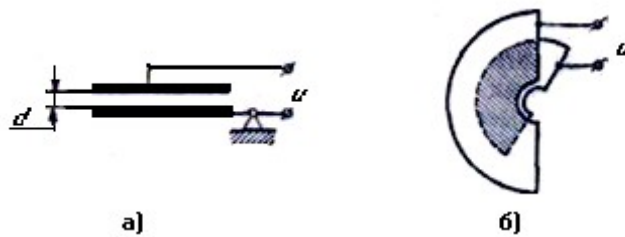


Рис. 3. 11 Принципиальные схемы емкостных датчиков:

а — с поступательным перемещением пластин; б — поворотного типа.

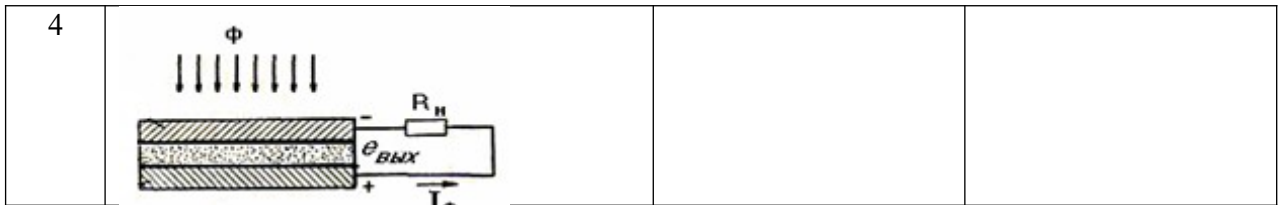
В технике датчики данного типа применяются в основном для измерения линейных перемещений и углов поворота различных механизмов и приборов.

Порядок выполнения работы

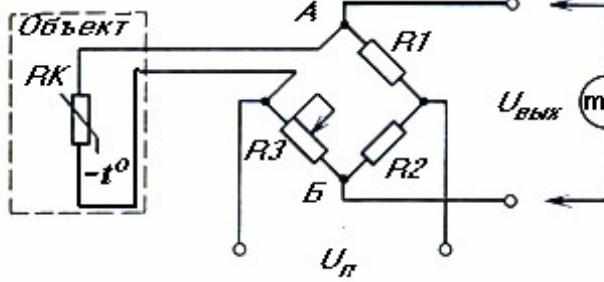

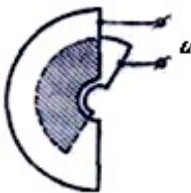
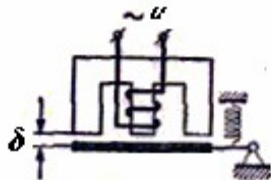
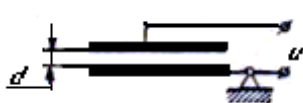
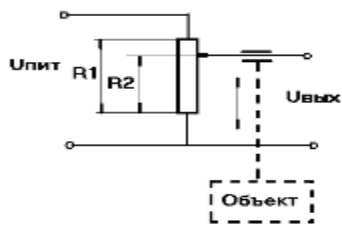
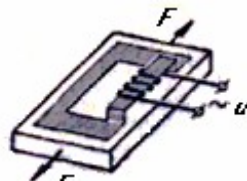
Задание 1. Начертите схему классификации датчиков.

Задание 2. Заполнить таблицу

№п/п	Схемы генераторных датчиков	Датчик	Контролируемая величина
1			
2			
3			



**Задание 3.** Заполнить таблицу

№п/п	Схема датчика	Датчик	Контролируемая величина	Изменяющийся параметр датчика
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				

**Контрольные вопросы.**

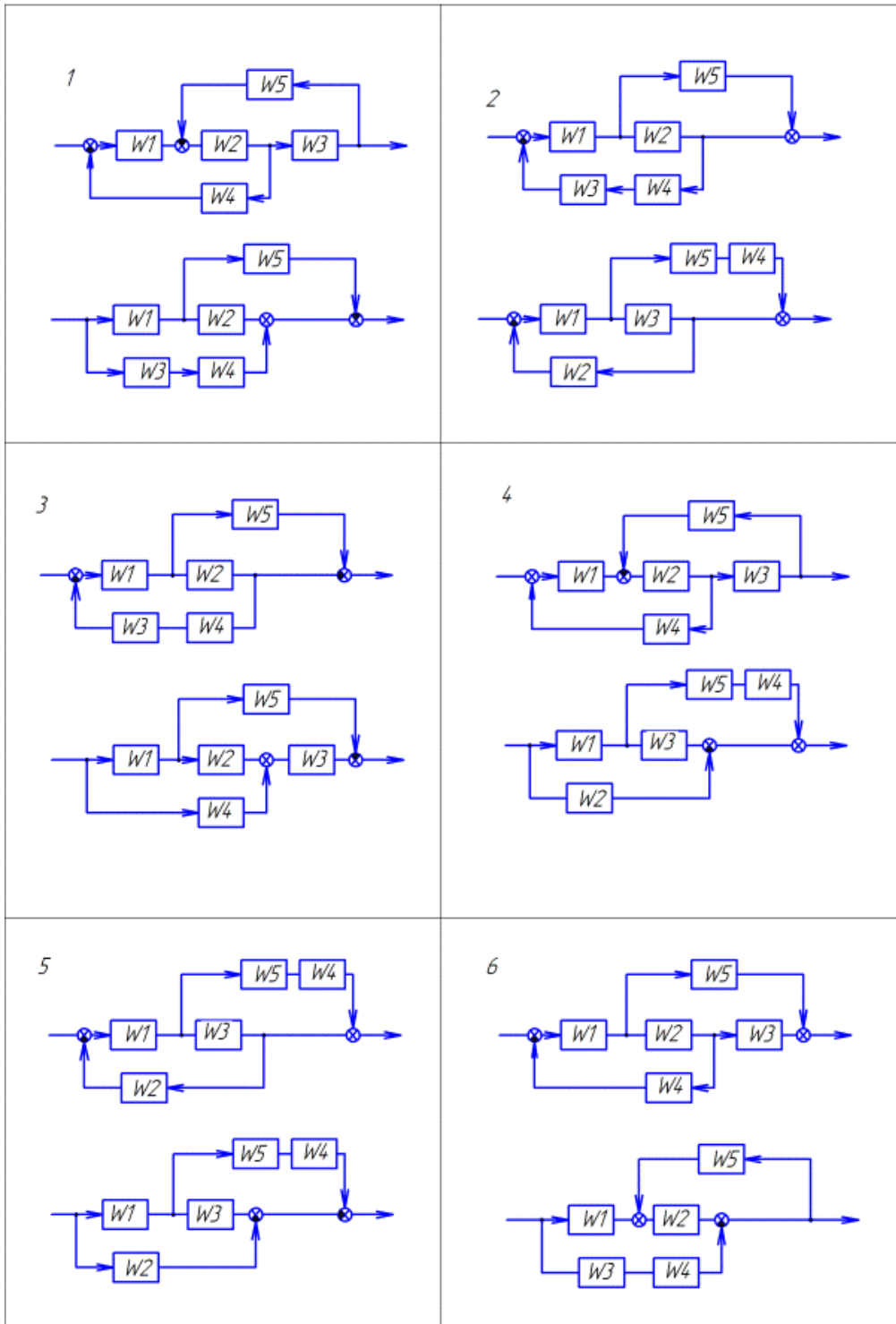
1. Какой сигнал подают на вход каждого элемента автоматики? Какие преобразования выполняются внутри него?
2. Какое устройство можно назвать датчиком?
3. Приведите пример датчика и объясните, почему Вы считаете данное устройство датчиком.
4. На какие группы делятся датчики?
5. На основании какого свойства описанных датчиков можно сделать вывод, что они являются генераторными датчиками?
6. В чём особенность генераторных датчиков? Приведите примеры.
7. Какая выходная величина является электрическим сигналом генераторного датчика? Подтвердите это объяснением принципа работы датчика.
8. От чего зависит величина сигнала в цепи генераторного датчика?
9. В чём особенность параметрических датчиков? Приведите пример параметрического датчика.
10. От чего зависит величина сигнала в цепи параметрического датчика?
11. Назовите основное свойство датчика.

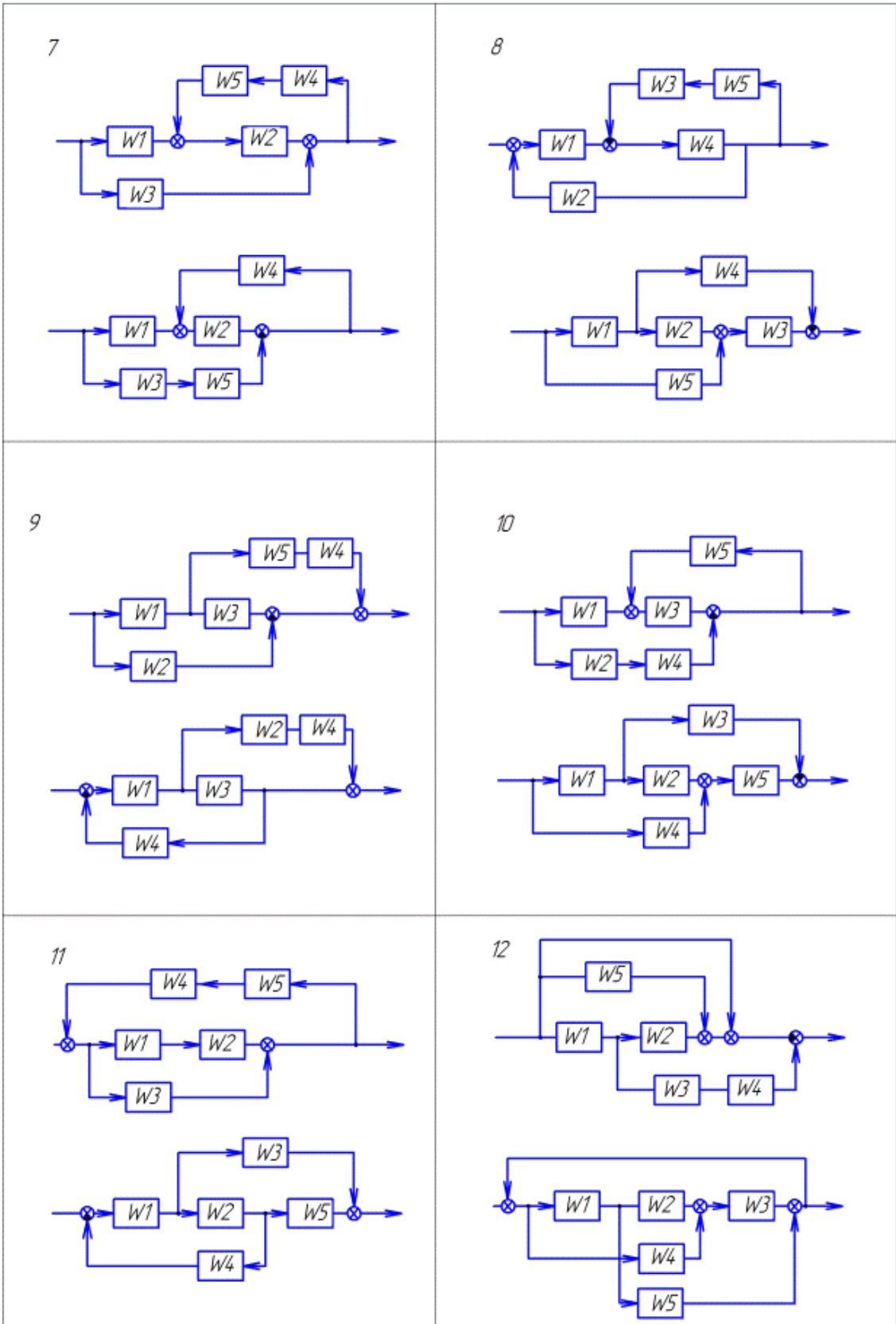
**Практическая работа № 4****Составить структурную схему по дифференциальному уравнению**

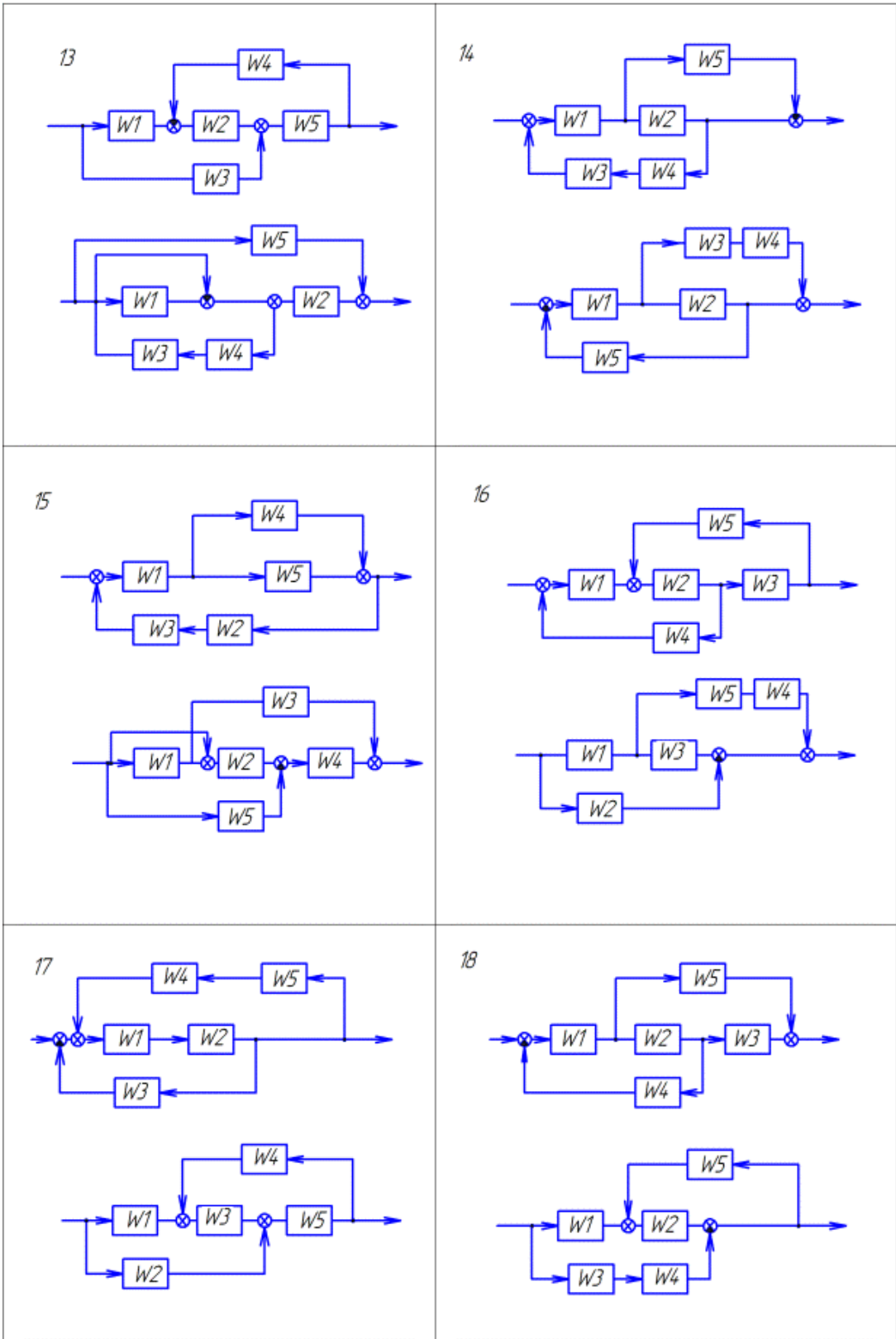
1. Составить структурную схему по дифференциальному уравнению объекта и определить передаточную функцию. Варианты заданий:

1	$3y^{(3)} + 6y^{(2)} - 3y = u^{(2)} - 2u^{(1)} + u$	10	$3y^{(3)} + 3y^{(2)} + 2y^{(1)} - y = -4u^{(1)} + u$
2	$y^{(3)} - 3y^{(2)} + 2y^{(1)} + 5y = 3u^{(2)} + u$	11	$5y^{(3)} - 5y = 3u^{(2)} - 2u^{(1)} + u$
3	$-2y^{(3)} + 4y^{(2)} + 2y^{(1)} - 5y = u^{(2)} - 3u^{(1)} + u$	12	$4y^{(3)} - 3y^{(2)} + 6y^{(1)} + 2y = 3u^{(2)} - 2u^{(1)}$
4	$3y^{(3)} - 4y^{(2)} + 2y^{(1)} = 3u^{(2)} - u^{(1)}$	13	$12y^{(3)} + 4y^{(2)} + 3y^{(1)} + 2y = 3u$
5	$5y^{(3)} - 7y^{(2)} - 3y^{(1)} = 2u^{(2)} - u$	14	$6y^{(3)} - 4y^{(2)} + 2y^{(1)} = 6u^{(2)} - 3u^{(1)} + u$
6	$-3y^{(3)} + 4y^{(2)} + 6y^{(1)} + 5y = -3u$	15	$8y^{(3)} + 3y^{(2)} - 3y = -5u^{(2)} - 3u^{(1)} + u$
7	$2y^{(3)} - 4y^{(2)} + 5y = -3u^{(1)} + u$	16	$3y^{(3)} + 3y^{(1)} + 5y = 5u^{(2)} + 2u^{(1)} + u$
8	$6y^{(3)} - y^{(2)} - y^{(1)} = -3u^{(1)} + u$	17	$-4y^{(3)} + 4y^{(2)} - 2y^{(1)} + 7y = 5u$
9	$-4y^{(2)} + 3y^{(1)} + 5y = -2u^{(1)} + u$	18	$3y^{(3)} - 2y^{(2)} - 3y^{(1)} = u^{(2)} - 4u^{(1)} + 2u$

2. Преобразовать структурную схему и определить эквивалентную передаточную функцию. Варианты заданий:

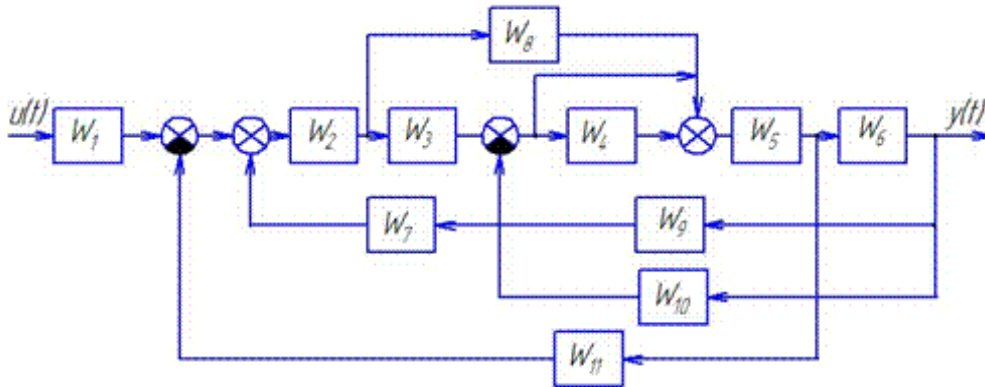








3. (без вариантов заданий, общее). Записать в общем виде главную передаточную функцию системы



### Практическая работа № 5

#### Тема: Изучение операционных усилителей

**Цель работы:** Ознакомиться с элементами операционного усилителя, изучить принцип его работы; понимать назначение усилителя в системах автоматического регулирования.

#### Теоретические сведения.

Операционным называют электронный усилитель постоянного тока, выполненный в виде интегральной микросхемы.

Идеальным операционным усилителем называют усилитель постоянного тока с дифференциальным входом и одним выходом (рис. 3.1), имеющий бесконечно большой коэффициент усиления напряжения, бесконечно большое входное сопротивление и нулевое выходное сопротивление.

У реального операционного усилителя дифференциальный коэффициент усиления по напряжению  $KU$  достигает нескольких миллионов. Операционные усилители обладают весьма высоким входным сопротивлением (несколько сотен кОм) и низким выходным сопротивлением  $R_{вых}$  (от десятков до сотен Ом).

Для питания операционного усилителя обычно используют два разнополярных источника  $+EП1$  и  $-EП2$ , позволяющие получить выходной потенциал, равный в со-

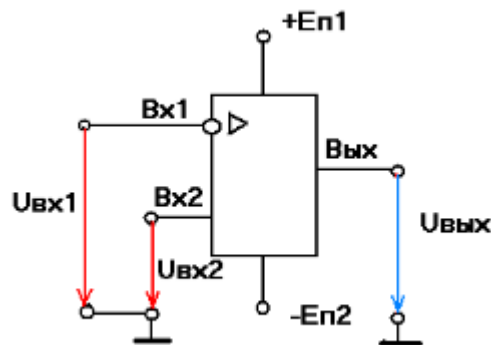


Рис. 4.1 Операционный усилитель.

Чтобы собирать разнообразные устройства на базе одного усилителя, внешние цепи обратной связи операционного усилителя подключают к различным точкам микросхемы.

Для построения линейных усилителей применяют операционные усилители с отрицательной обратной связью.

В зависимости от того, находится ли входной сигнал в противофазе или в фазе с выходным, различают инвертирующий (**Вх 1**) и неинвертирующий (**Вх 2**) входы. В зависимости от того, на какой из входов подается напряжение входного сигнала, различают неинвертирующий и инвертирующий усилители.

Интегральные операционные усилители являются универсальными, выполняющие математические операции, генерирующие, усиливающие и преобразующие сигналы. Результирующие характеристики устройства определяются только параметрами компонентов цепи внешней обратной связи.

### Порядок выполнения работы

1. Дайте определение операционного усилителя.
2. Начертите операционный усилитель. Обозначьте на схеме вход и выход усилителя; подключение источника питания.
3. Чем отличается идеальный операционный усилитель от реального? Заполните таблицу

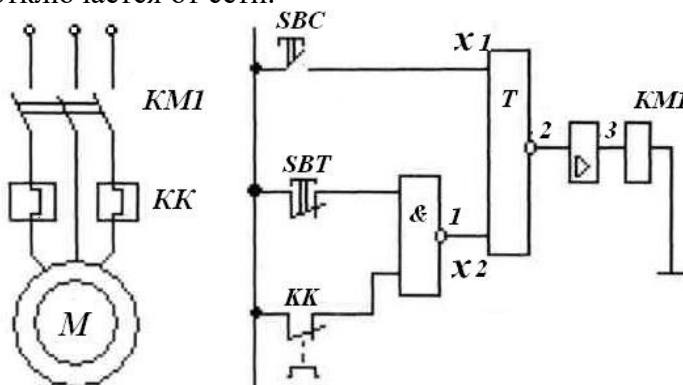
	Коэффициент усиления по напряжению <b>KU</b>	Входное сопротивление <b>Rвх</b>	Выходное сопротивление <b>Rвых</b>
Идеальный операционный усилитель			
Реальный операционный усилитель			

4. Какую функцию выполняет операционный усилитель в данной схеме пуска асинхронного электродвигателя? **Найдите** ответ в описании работы схемы.

При нажатии кнопки SBC появляется сигнал на входе триггера и им запоминается. Сигнал с выхода триггера усиливается. Под действием выходного напряжения операционного усилителя втягивается сердечник контактора КМ1, который своими силовыми контактами подключает электродвигатель М к сети.

При отпускании кнопки SBC схема остается в работе.

При нажатии кнопки SBT или срабатывании теплового реле КК на выходе элемента И-НЕ появляется сигнал, поступающей на вход триггера. Триггер перебрасывается. Сигнал на его выходе исчезает, снимается напряжение катушки контактора. Электродвигатель отключается от сети.



**Контрольные вопросы**

1. Какие усилители называют операционными?
2. Почему для питания операционного усилителя обычно используют два разнополярных источника?
3. В чём различие между инвертирующим и неинвертирующим усилителями?
4. Какие операции могут выполнять интегральные операционные усилители?

**Практическая работа № 6****Расчет временных характеристик**

**Цель работы:** Сформировать практические навыки по построению временных характеристик по заданной передаточной функции и определению параметров системы по графику временной характеристики.

Студент должен

уметь: строить временные характеристики системы по заданному характеристическому уравнению; составлять передаточную функцию объекта управления при заданном дифференциальном уравнении; пользоваться преобразованием Лапласа; переходить от переходной характеристики к импульсной переходной характеристике;

знать:

- понятия передаточной функции, оператора дифференцирования;
- понятия переходной характеристики и импульсной переходной характеристики.

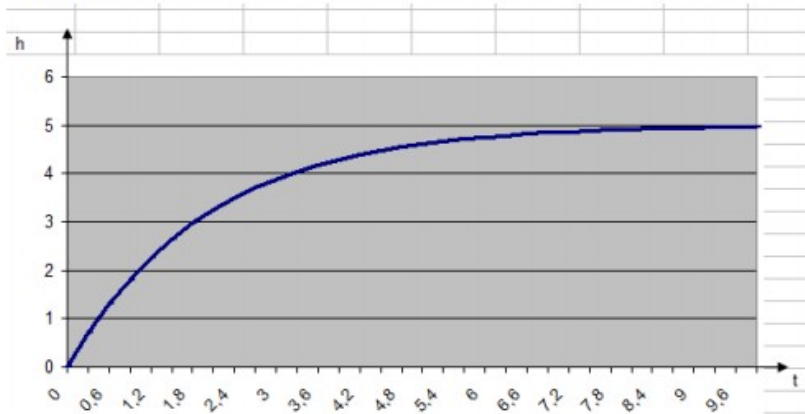
Теоретическое введение:

**Задача 1.** Построить временную характеристику по известной передаточной функции согласно индивидуальному заданию таблица

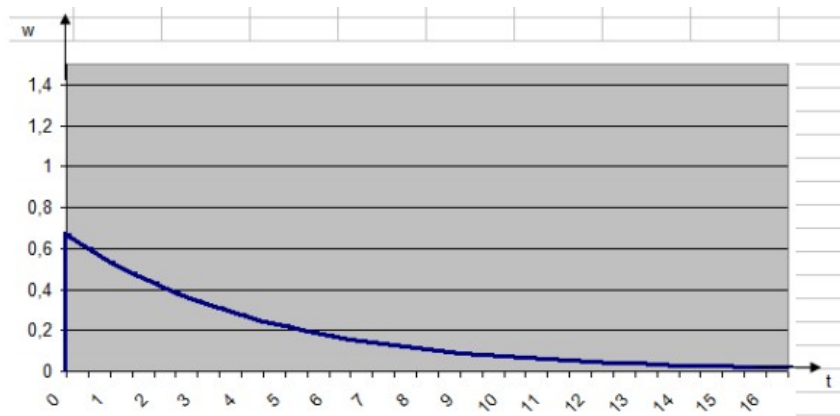
Вариант	Передаточная функция	Тип временной характеристики	Вариант	Передаточная функция	Тип временной характеристики
1	$W(p) = 5p/(1+p)$	Переходная	16	$W(p) = p/(3p^2 + p)$	Переходная
2	$W(p) = 6/p^2$	Весовая	17	$W(p) = 2/p^3$	Весовая
3	$W(p) = 3p/(1+3p)$	Переходная	18	$W(p) = 3p/p^2$	Переходная
4	$W(p) = 1/(3p^2 + p)$	Весовая	19	$W(p) = 2/(1+2p)$	Весовая
5	$W(p) = 3pe^{-2p}$	Переходная	20	$W(p) = 5p/p^2$	Переходная
6	$W(p) = 1/(4p^2 + p)$	Весовая	21	$W(p) = 3/(1+p)$	Весовая
7	$W(p) = p/(2p^2 + p)$	Переходная	22	$W(p) = p/(4p^2 + p)$	Переходная
8	$W(p) = 4e^{-2p}$	Весовая	23	$W(p) = 2/p^2$	Весовая
9	$W(p) = 2p/p^2$	Переходная	24	$W(p) = 4pe^{-3p}$	Переходная
10	$W(p) = 4/(1+4p)$	Весовая	25	$W(p) = 1/(2p^2 + p)$	Весовая
11	$W(p) = 3p/(1+p)$	Переходная	26	$W(p) = 4p/(1+4p)$	Переходная
12	$W(p) = 4/(1+p)$	Весовая	27	$W(p) = 3e^{-2p}$	Весовая
13	$W(p) = 2p/(1+2p)$	Переходная	28	$W(p) = 4p/(1+p)$	Переходная
14	$W(p) = 10/p^2$	Весовая	29	$W(p) = 3/(1+3p)$	Весовая
15	$W(p) = 2pe^{-p}$	Переходная	30	$W(p) = 8p/p^2$	Переходная
16	$W(p) = \frac{1}{p} \left( \frac{1}{p+2} \right)$	Весовая	31	$W(p) = 5/(1+p)$	Весовая

**Задача 2.** По заданному графику определить параметры системы.

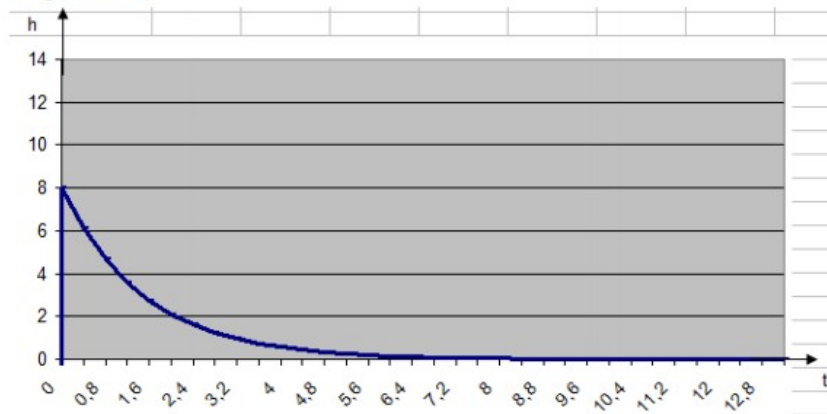
Вариант 1



Вариант 2

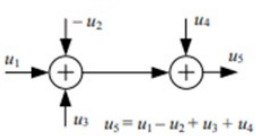
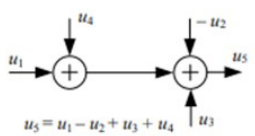
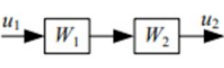
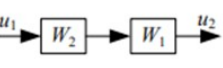
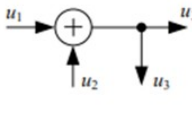
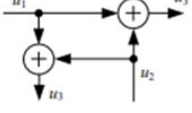
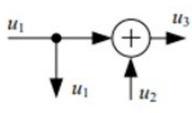
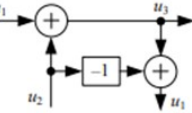
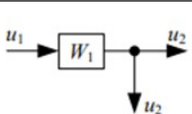


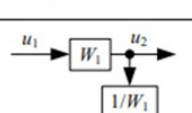


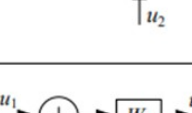

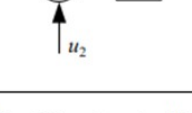





Вариант 3



### Практическая работа №7

#### Эквивалентные преобразования структурных схем

Операция	Исходная схема	Эквивалентная схема
Перестановка сумматоров		
Перестановка звеньев		
Перенос узла с выхода на вход сумматора		
Перенос узла с входа на выход сумматора		
Перенос узла с выхода на вход звена		
Перенос узла с входа на выход звена		
Перенос сумматора с выхода на вход звена		
Перенос сумматора с входа на выход звена		
Замена звеньев прямой и обратной цепи		
Переход к единичной обратной связи		

### Контрольные вопросы

1. Дайте определение структурной схеме САУ.
2. Дайте определение сумматора.
3. Дайте определение узла структурной схемы.
4. Назовите особенности последовательного соединения звеньев.
5. Назовите особенности параллельного соединения звеньев.
6. Запишите выражение для определения передаточной функции разомкнутой САУ.
7. Запишите выражение для определения передаточной функции замкнутой САУ по выходной координате относительно задающего воздействия.
8. Запишите выражение для определения передаточной функции замкнутой САУ по выходной координате относительно возмущающего воздействия.

9. Запишите выражение для определения передаточной функции замкнутой САУ по ошибке относительно задающего воздействия.

10. Запишите выражение для определения передаточной функции замкнутой САУ по ошибке относительно возмущающего воздействия.

### Практическая работа №8

#### Снятие статических и динамических характеристик объекта управления.

#### Характеристики объектов регулирования

Независимо от конструкции любые объекты регулирования обладают рядом общих свойств, связанных с передачей энергии и передачей информации:

1. Емкость – способность объекта аккумулировать рабочую среду:

$$c = \frac{Q}{\frac{\Delta A}{\Delta t}}$$

Где: Q – количество вещества

$\Delta A/\Delta t$  – скорость изменения параметра

2. Запаздывание – задержка во времени изменения регулируемого параметра после возмущения.

3. Устойчивость – свойство системы возвращаться в первоначальное состояние после снятия возмущающего воздействия.

4. Самовыравнивание – свойство объекта восстанавливать равновесие между притоком и расходом энергии без вмешательства извне.

Статические – без самовыравнивания

Астатические – с самовыравниванием

Степень самовыравнивания характеризуется коэффициентом пропорциональности:

$$\rho = \frac{\lambda}{\Delta A}$$

где:  $\lambda$  – величина возмущения

$\Delta A$  – отклонение регулируемого параметра

5. Коэффициент усиления – показывает во сколько раз изменяется выходная величина с изменением входной величины (возмущения) при переходе из одного состояния равновесия в другое:

$$K = \frac{1}{\rho} = \frac{\Delta A}{\lambda}$$

#### Временные характеристики объектов регулирования

Временная характеристика – реакция системы на ступенчатое входное воздействие.

Различают: - разгонная характеристика

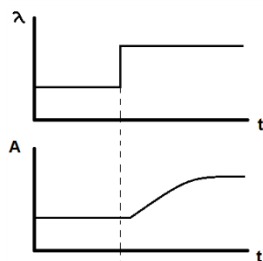
- импульсная характеристика

- частотная характеристика

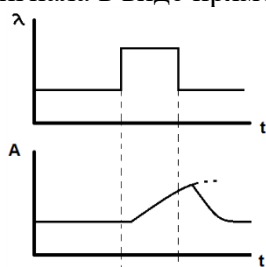
- амплитудно-частотная характеристика

- фазо-частотная характеристика

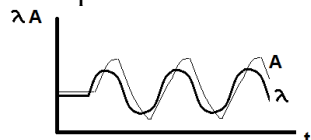
Разгонная - кривая изменения выходной величины во времени при однократном ступенчатом изменении входного сигнала:



Импульсная – зависимость выходной величины во времени при воздействии на вход сигнала в виде прямоугольного импульса:



Частотная – зависимость гармонических колебаний выходного параметра от заданных гармонических колебаний, подаваемых на вход объекта:



Амплитудно-частотная – отношение амплитуд колебаний выходной и входной величины.

Фазочастотная – сдвиг по фазе между колебаниями входной и выходной величины в зависимости от частоты.

## Практическое занятие № 9

### Снятие разгонной, переходной характеристик, возмущения объекта регулирования

#### Динамические характеристики объектов регулирования

Выбор элементного состава системы регулирования, законов регулирования, обеспечение требуемого качества процесса регулирования во многом определяется динамическими свойствами элементов АСР, и прежде всего объекта регулирования. Для определения динамических свойств ОР используют его динамические характеристики, к числу которых относят: разгонные характеристики, импульсные характеристики, частотные характеристики.

Динамические характеристика, как правило, определяются экспериментально. При невозможности получения экспериментальной характеристики пользуются методом математического моделирования АСР, описывая ее поведение дифференциальными уравнениями.

#### Разгонные характеристики объектов регулирования

Разгонной или переходной характеристикой называют зависимость изменения выходной регулируемой величины от времени  $y_{\text{вых}}(t)$ . Для получения разгонной характеристики ОР ступенчатое воздействие может быть приложено к объекту регулирования или к регулятору.

Разгонные характеристики снимают при испытаниях или наладке в случаях, когда можно нанести значительные по величине и продолжительности во времени воздействия, достаточные для того, чтобы закончился переходный процесс, т.е. стабилизировался регулируемый параметр, по отношению к которому получают разгонную характеристику, либо стабилизировалась скорость его изменения.

**Методика получения разгонных характеристик** сводится к выполнению следующих основных условий:

- до нанесения воздействия стабилизируется режим работы ОР по регулируемому параметру, относительно которого снимается разгонная характеристика;
- размыкается главная обратная связь между ОР и регулятором, регулирующим параметр, по которому снимается разгонная характеристика;

- величина воздействия устанавливается исходя из производственных возможностей длительного нарушения режима работы ОР.

Необходимо, чтобы воздействие значительно превосходило по величине случайные возмущения, которые могут иметь место во время опыта (обычно воздействие составляет не менее 10% от максимально возможного). Воздействия наносят с возможно большой скоростью, приближаясь к ступенчатому. Во время опыта необходимо обеспечить, чтобы другие виды возмущений отсутствовали или, во всяком случае, были малы по сравнению с наносимым. В виду того, что сложные регулируемые объекты имеют различные динамические свойства при различных видах воздействий, разгонные характеристики снимают при управляющем и возмущающем воздействии, либо воздействию, приложенном к исполнительному механизму регулировочного органа.

Опыт следует повторить, по крайней мере, два раза при воздействиях одного знака (направления) и затем направление (знак) изменить. Разгонная характеристика будет считаться полученной при удовлетворительном совпадении результатов. Для нелинейных ОР опыт проводят при нескольких, обычно трех, различных нагрузках ОР.

### Разгонная характеристика одноемкостного объекта регулирования с самовыравниванием.

Способность объекта регулирования придти после воздействия на него в новое установившееся состояние называется свойством самовыравнивания ОР.

У ОР с самовыравниванием каждому положению регулировочного органа или значению нагрузки (возмущающему воздействию) соответствует свое установившееся значение регулируемого параметра, согласно величине воздействия.

Разгонные характеристики приведены на рис. 1.

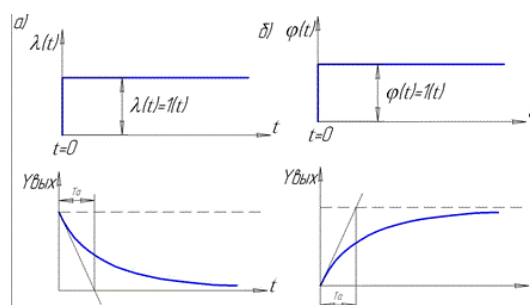


Рис. 1 - Разгонные характеристики: а) при возмущающем воздействии, б) при управляющем воздействии.

Особенность одноемкостных ОР в том, что скорость изменения  $u_{\text{вых}}$  максимальна с момента нанесения воздействия. Параметры разгонных характеристик, по которым оценивают динамические свойства ОР (Рис. 2):

$T_a$  - время разгона для ОР - время, в течении которого регулируемый параметр изменится от своего начального значения в момент времени  $t_0$  до заданного значения, отвечающему величине воздействия, с постоянной максимальной скоростью, соответствующей наибольшему небалансу.

Для определения  $T_a$  проводят касательную к кривой разгона из точки  $t=0$ . Касательная отсекает отрезок на оси времени, при пересечении касательной и заданного значения регулируемой величины, определяемого величиной воздействия. Практика получения и обработки разгонных характеристик показывает, что для одноемкостных ОР с самовыравниванием время разгона  $T_a$  соответствует времени, прошедшему от момента возникновения возмущения до момента достижения регулируемой величины значения, равного 0,633 потенциального значения.



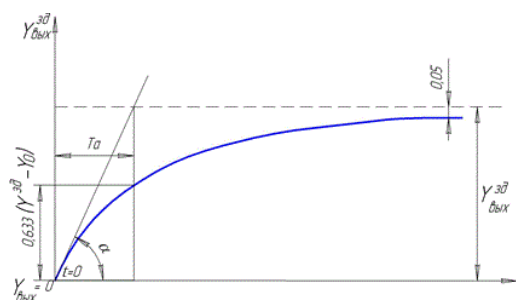


Рис. 2 Параметры разгонных характеристик, по которым оценивают динамические свойства ОР

Раздел 2. Линейные автоматические системы управления	31-34, 36- 314, У1-У4, У6-У9, ПК 1.2, ПК 1.3, ПК 4.2, ПК 4.3, ПК 5.1, ПК 5.2, ПК 5.3 ПК 5.4, ПК 5.5
--	---

### Перечень контрольных вопросов

1. Что такое частотная передаточная функция?
2. Что такое амплитудная характеристика?
3. Что такое фазовая характеристика?
4. Какие существуют способы построения АФЧХ?
5. Для чего используются АФЧХ звеньев (систем)?
6. Дать определение логарифмическим амплитудной и фазовой характеристикам.
7. Чему равен один децибел? В чем заключается физический смысл децибела?
8. Что такое частота сопряжения и частота среза на логарифмических частотных характеристиках?
9. Как определить полосу пропускания для звеньев первого порядка?
10. Как определить полосу пропускания для звеньев второго порядка?
11. В каких режимах оценивается качество стационарных САУ? Что входит в это понятие и от чего зависят методы его оценки?
12. Дать определение устойчивости системы.
13. Сформулировать критерий устойчивости Гурвица. Каковы его недостатки?
14. Что называется запасом устойчивости по амплитуде и фазе? Как определить эти параметры по частотным характеристикам системы?
15. Как определить устойчивость системы по виду ее АЧХ?
16. Позволяет ли вид переходной характеристики судить об устойчивости системы?

### Тестирование

1. Системой автоматического управления называется система
  - А) осуществляющая основной процесс без участия человека
  - В) выполняющая функции контроля объектов управления
  - С) в которой функции управления делят поровну машина и человек
  - Д) осуществляющая управление наилучшим образом
  - Е) реагирующая на возмущающие воздействия
2. Какая система называется системой автоматизированного управления?
  - А) в которой функции управления делятся между машиной и человеком
  - В) выполняющая функции контроля объектов управления
  - С) осуществляющая основной процесс без участия человека

D) осуществляющая управление наилучшим образом

E) реагирующая на возмущающие воздействия

3. Управление, осуществляемое в условиях имеющихся ограничений наилучшим образом, называется

A) оптимальным

B) робастным

C) автономным

D) многомерным

E) стационарным

4. Частная задача управления, состоящая в отработке задающего воздействия без выбора характера этого воздействия, называется

A) регулирование

B) измерение

C) контроль

D) компенсация

E) D-разбиение

5. Функция  $r(t)$  называется

A) задающим воздействием

B) управляющим воздействием

C) возмущающим воздействием

D) ошибкой регулирования

E) управляемой величиной

6. Функция  $e(t)$  называется

A) ошибкой регулирования

B) задающим воздействием

C) возмущающим воздействием

D) управляющим воздействием

E) управляемой величиной

7. Функция  $u(t)$  называется

A) управляющим воздействием

B) задающим воздействием

C) возмущающим воздействием

D) ошибкой регулирования

E) управляемой величиной

8. Функция  $y(t)$  называется

A) управляемой величиной

B) задающим воздействием

C) возмущающим воздействием

D) ошибкой регулирования

E) управляющим воздействием

9. Функция  $f(t)$  называется

A) возмущающим воздействием

B) задающим воздействием

C) управляющим воздействием

D) ошибкой регулирования

E) управляемой величиной

10. Система, задающее воздействие которой не изменяется во времени, называется

A) стабилизирующей

B) следящей

C) программной

D) оптимальной

E) разомкнутой

11. Система, задающее воздействие которой является известной функцией времени, называется

- A) программной
- B) следящей
- C) стабилизирующей
- D) оптимальной
- E) замкнутой

12. Система, задающее воздействие которой является произвольной функцией времени, называется

- A) следящей
- B) стабилизирующей
- C) программной
- D) оптимальной
- E) робастной

13. Функция передачи последовательно соединенных звеньев равна

- A) произведению функций звеньев по прямому пути
- B) дроби, знаменатель которой равен произведению функций по контуру
- C) сумме функций звеньев по прямому пути
- D) сумме функций звеньев по контуру
- E) дроби, знаменатель которой равен сумме функций звеньев по контуру

14. Как называется типовое воздействие, имеющее изображение по Лапласу  $1/s$ ?

- A) единичный скачок
- B) кривая разгона
- C) единичная гармоника
- D) единичный импульс
- E) линейная функция

15. Как называется реакция на типовое воздействие  $1(t)$ ?

- A) переходная функция
- B) кривая разгона
- C) передаточная функция
- D) частотная функция
- E) импульсная функция

16. Чему равна функция передачи параллельно соединенных звеньев?

- A) сумме функций звеньев по прямому пути
- B) произведению функций звеньев по прямому пути
- C) дроби, знаменатель которой равен произведению функций по контуру
- D) сумме функций звеньев по контуру
- E) дроби, знаменатель которой равен сумме функций звеньев по контуру

17. Декадой называется

- A) отрезок, равный изменению частоты в десять раз
- B) единица измерения ЛАЧХ, соответствующая ее изменению в десять раз
- C) отрезок, равный десяти делениям по оси ординат ЛАЧХ
- D) отрезок, равный десяти делениям по оси абсцисс ЛАЧХ
- E) частота, на которой усиление или ослабление системы отсутствует

18. Звено, у которого скорость изменения выходной величины пропорциональна входной величине, называется

- A) нейтральным
- B) пропорциональным
- C) инерционным
- D) колебательным
- E) консервативным

19. Звено, которое на всех частотах создает отставание выходного сигнала относительно входного по фазе на  $-90^\circ$ , называется

- A) интегрирующим
- B) пропорциональным
- C) инерционным
- D) дифференциальным
- E) запаздывающим

20. Звено, выходная величина которого в каждый момент времени пропорциональна входной величине, называется

- A) усилительным
- B) астатическим
- C) апериодическим первого порядка
- D) дифференциальным
- E) форсирующим

21. Звено, реакция которого на скачок является экспоненциальной функцией, называется

- A) апериодическим первого порядка
- B) астатическим
- C) усилительным
- D) дифференциальным
- E) форсирующим

22. АФЧХ консервативного звена представляет собой

- A) прямую линию
- B) эллипс
- C) треугольник
- D) многоугольник
- E) круг

23. АФЧХ дифференцирующего звена представляет собой

- A) прямую линию
- B) эллипс
- C) треугольник
- D) многоугольник
- E) круг

24. АФЧХ интегрирующего звена представляет собой

- A) прямую линию
- B) эллипс
- C) точку
- D) многоугольник
- E) круг

25. Зависимость от частоты кратности изменения модуля гармонического сигнала при прохождении его через линейную систему называется

- A) АЧХ
- B) АФЧХ
- C) ФЧХ
- D) ВЧХ
- E) МЧХ

26. Прямыми оценками качества называются показатели качества, определяемые

- A) по переходной характеристике
- B) по передаточной функции
- C) по импульсной характеристике
- D) по весовой характеристике

Е) по частотной характеристике

## Содержание практических занятий

### Практическая работа № 10

#### Определение устойчивости системы автоматике по критерию Гурвица

**Цель работы:** формирование умения определять устойчивость системы автоматике с помощью критерия Гаусса-Гурвица.

#### Теоретическое обоснование

Для анализа САУ используют косвенные оценки-критерии, позволяющие ответить на главный вопрос –устойчива или неустойчива система, а также оценить качество переходного процесса без решения дифференциального уравнения.

#### Критерий устойчивости Гаусса-Гурвица

Пусть характеристическое уравнение системы- это знаменатель передаточной функции САУ, имеет вид:

$$a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + a_2 p^{n-2} + \dots + a_n = 0$$

Система устойчива, если при  $a_0 > 0$  положительны все определители начиная с  $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n$ , где  $n$  –это степень характеристического уравнения.

$$, i = 1, 2, 3, \dots, n.$$

Если хотя бы один из определителей, называемых определителями Гурвица, отрицателен, то система неустойчива.

Определители Гурвица составляют следующим образом: на главной диагонали записываются все коэффициенты характеристического уравнения от  $a_1$  до  $a_i$  (в порядке возрастания индекса), затем в каждом столбце выше диагональных коэффициентов записывают коэффициенты с последовательно возрастающими индексами, а ниже – с последовательно убывающими индексами; на место с коэффициентами с индексами большими  $n$  или меньшими нуля проставляют нули. При этом каждый  $i$ -й определитель получается размером  $i \times i$ .

Так как последний столбец определителя  $\Delta_n$  содержит всегда только один элемент  $a_n$ , отличный от нуля, то согласно известному свойству определителей  $\Delta_n = a_n \Delta_{n-1}$

Если хотя бы один из определителей, называемых определителями Гурвица, отрицателен, то система неустойчива. Если главный определитель  $\Delta_n = 0$ , а все остальные определители положительны, то система находится на границе устойчивости.

Рассмотрим частные случаи критерия Гурвица для  $n=1; 2; 3; 4$ . Раскрывая определители, фигурирующие в общей формулировке критерия, можно получить следующие условия.

1. Для уравнения первого порядка ( $n=1$ )

$$a_0 p + a_1 = 0$$

условие устойчивости:  $a_0 > 0$  и  $\Delta_1 = a_1 > 0$ , т.е. для устойчивости системы необходимо и достаточно, чтобы все коэффициенты характеристического уравнения были больше нуля.

2. Для уравнения второго порядка ( $n=2$ )

$$a_0 p^2 + a_1 p + a_2 = 0$$

условие устойчивости:

$$a_0 > 0, \Delta_1 = a_1 > 0$$

$$\Delta_2 = a_2 \Delta_1 > 0 \text{ или } a_2 > 0$$

Т.о., и для системы второго порядка необходимое условие устойчивости (положительность коэффициентов) является одновременно и достаточным.

3. Для уравнения третьего порядка ( $n=3$ )

$$a_0p^3+a_1p^2+a_2p+a_3=0$$

условие устойчивости:

$$a_0>0, \Delta_1=a_1>0$$

При  $n=3$  для устойчивости системы необходимо и достаточно, чтобы все коэффициенты характеристического уравнения были больше нуля и произведение средних коэффициентов уравнения ( $a_1, a_2$ ) было больше произведения крайних ( $a_0, a_3$ ).

4. Для уравнения четвертого порядка ( $n=4$ )

$$a_0p^4+a_1p^3+a_2p^2+a_3p+a_4=0$$

Кроме положительности всех коэффициентов требуется выполнение условия

При  $n=4$  система будет устойчива при всех коэффициентах больших нуля и при

т.о., для устойчивости систем не выше четвертого порядка необходимо и достаточно, чтобы все коэффициенты характеристического уравнения и определитель  $\Delta_{n-1}$  были положительными.

Критерий Гурвица удобно использовать при  $n<5$ . При  $n>5$  критерий Гурвица становится громоздким и применяют критерий Рауса.

**Пример.** Открыть Microsoft Excel в новом документе в верхней строчке ввести название коэффициентов системы  $a_0p^4+a_1p^3+a_2p^2+a_3p+a_4+k$ . Ниже вводим сами коэффициенты ( $a_0=2, a_1=8, a_2=7, a_3=6, a_4=3, k=0$ ). Затем на свободном месте пишем определитель Гурвица (рис 1.1).

	A	B	C	D	E
1	a0	a1	a2	a3	a4
2	2	8	7	6	3
3					
4	Критерий Гурвица				
5					
6		8	6	0	0
7		2	7	3	0
8		0	8	6	0
9		0	2	7	3

Рис 1.1

Ниже организовываем расчет определителей  $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \Delta_4$ :

$$\Delta_1=a_1,$$

$$\Delta_2=a_1*a_2-a_0*a_3,$$

$$\Delta_3=a_1*a_2*a_3+a_0*a_1*0+a_3*(a_4+k)*0-0*a_2*0-a_1*(a_4+k)*a_1-a_3*a_0*a_3$$

$$\Delta_4=a_4*\Delta_3$$

Можно также воспользоваться МОПРЕД() – стандартной функцией Microsoft Excel.

	A	B	C	D	E	F	G
1	a0	a1	a2	a3	a4		
2	2	8	7	6	2		
3							
4	Критерий Гурвица						
5							
6		8	6	0	0		
7		2	7	4,1	0		
8		0	8	6	0		
9		0	2	7	4,1		
10							
11		$\Delta_1$	$\Delta_2$	$\Delta_3$	$\Delta_4$		k
12		8	44	0	0		2,125
13							

Рис 1.2

Требуется подобрать такой коэффициент  $k=k_{кр}$ , чтобы замкнутая система оказалась на границе устойчивости.

**Ход работы:**

1. Ознакомиться с теоретическим обоснованием работы.
2. Рассмотреть пример решения.
3. Выполнить задание по варианту в EXCEL.
4. Оформить отчет.

**Практическая работа №11****Устойчивость систем. Частотные критерии устойчивости. Критерий Михайлова.****Задача 1.**

Разомкнутая система имеет передаточную функцию

$$W(p) = \frac{k_1 k_2 (T_1 p + 1)}{T_1 T_2^2 p^3 + T_1 T_3 p^2 + T_1 p}.$$

Выяснить устойчивость замкнутой системы по Михайлову при  $T_1 = 0,1$ ;  $T_2 = 0,15$ ;  $T_3 = 0,2$ ;  $k_1 = 10$ ;  $k_2 = 20$ .

**Задача 2.**

Выяснить устойчивость системы с характеристическим уравнением второй степени

$$3p^2 + 2p + 1 = 0.$$

**Задача 3.**

Система с передаточной функцией

$$W(p) = \frac{5}{p^3 + 7p^2 + 3p + 1}$$

замыкается. Будет ли она устойчивой?

**Задача 4.**

Оценить устойчивость автоматической системы по критерию Михайлова, если известен характеристический полином замкнутой системы

А)  $D(p) = p^3 + 0,5p^2 + 12p + 5$ .

Б)  $D(p) = p^3 + 2p^2 + 4p + 10$ .

С)  $D(p) = p^3 + 10p^2 + 6p + 2$ .

В)  $D(p) = 2p^3 + 4p^2 + 3p + 5$ .

**Задача 5.**

Построить годограф Михайлова для системы дифференциальное уравнение которой

$$\frac{d^3 y}{dt^3} + 5 \frac{d^2 y}{dt^2} + 10 \frac{dy}{dt} + 20y = x.$$

Сделать вывод об устойчивости.

## Практическая работа № 12

### Методика расчета параметров корректирующих звеньев

Дана структурная схема системы вида 1 (таблица). Необходимо рассчитать параметры корректирующего звена частотным методом так, чтобы показатели качества переходных процессов в замкнутой системе удовлетворяли следующим требованиям 2 (таблица):

№	1	2
A		$t_n \leq 10\text{с}, \sigma = 30\%, \Delta^0 \leq 3\%$
B		$t_n \leq 10\text{с}, \sigma = 30\%, \Delta^0 \leq 3\%$
C		$t_n \leq 5\text{с}, \sigma = 30\%, \Delta^0 \leq 3\%$

Раздел 3. Дискретные САУ	31-34, 36- 314, У1-У4, У6-У9, ПК 1.2, ПК 1.3, ПК 4.2, ПК 4.3, ПК 5.1, ПК 5.2, ПК 5.3 ПК 5.4, ПК 5.5
--------------------------	---

### Перечень контрольных вопросов

1. Перечислите способы квантования сигналов.
2. Поясните принцип квантования по уровню.
3. Поясните принцип квантования по времени.
4. Поясните принцип квантования по времени и уровню.
5. Назовите, какие способы квантования сигнала характерны для релейных, импульсных и цифровых САУ.
6. Дайте определение решетчатой функции.
7. Дайте определение линейному разностному уравнению.
8. Запишите формулу дискретного преобразования Лапласа.
9. Поясните принцип амплитудно-импульсной, широтно-импульсной и время-импульсной модуляции.
10. Поясните понятие «идеальный импульсный элемент».
11. Поясните понятие «формирующая цепь».
12. Приведите формулу Коши для системы линейных разностных уравнений.
13. Приведите формулу Коши для линейных разностных уравнений k-го порядка.
14. Как решается система линейных разностных уравнений с постоянными коэффициентами?
15. Как решаются линейные разностные уравнения k-го порядка с постоянными коэффициентами?
16. Каковы свойства дискретного преобразования Лапласа?



### Контрольная работа

1. Осуществите приближенно разностное уравнение дискретной системы при малом шаге квантования, если аналог непрерывной модели системы автоматического управления описывается следующим дифференциальным уравнением

$$a \frac{d^3 x}{dt^3} + b \frac{d^2 x}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + dx = ay$$

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
a	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009	0,01
b	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,11	0,12	0,13
c	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,1	0,2	0,3	0,4	1
d	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
To	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

2. Определите импульсную передаточную функцию системы автоматического управления, которая состоит из цифро-аналогового преобразователя с интервалом дискретизации  $T_0 = 0,002$  и непрерывного звена с передаточной функцией  $W(p) = K/p(Tp+1)$

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
K	2	4	5	6	8	10	12	14	16	20
T	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1

3. При помощи алгебраического критерия Гурвица определите устойчивость дискретной системы автоматического управления с характеристическим уравнением  $D(z)=z^3 +az^2 +bz+c =0$

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
a	1	2	3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,1
b	0,015	0,025	0,035	0,045	0,055	0,065	0,075	0,085	0,095	0,15
c	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009	0,01

Промежуточная аттестация в 6 семестре - дифференцированный зачет	31-34, 36- 314, У1-У4, У6-У9, ПК 1.2, ПК 1.3, ПК 4.2, ПК 4.3, ПК 5.1, ПК 5.2, ПК 5.3 ПК 5.4, ПК 5.5
--	---

### Вопросы к дифференцированному зачету

1. Принципы автоматического управления

2. Разомкнутые и замкнутые САУ
3. Линейные законы управления
4. Классификация систем автоматического управления
5. Формы представления дифференциальных уравнений
6. Общая форма представления дифференциальных уравнений
7. Стандартная форма представления дифференциальных уравнений
8. Форма представления дифференциальных уравнений в виде передаточных функций
9. Форма представления дифференциальных уравнений в виде частотных передаточных функций
10. Амплитудно-фазо-частотная характеристика
11. Логарифмические частотные характеристики
12. Типовые входные воздействия
13. Переходная функция
14. Импульсная переходная функция
15. Виды переходных функций
16. Типовые динамические звенья
17. Безынерционное (пропорциональное) звено
18. Интегрирующее звено
16. Аperiodическое звено первого порядка (инерционное звено)
17. Колебательное звено
18. Аperiodическое звено второго порядка
19. Консервативное звено
20. Идеальное дифференцирующее звено
21. Реальное дифференцирующее звено (дифференцирующее звено с замедлением)
22. Форсирующее звено первого порядка
23. Звено запаздывания
24. Минимально-фазовые и неминимально-фазовые динамические звенья
25. Структурные схемы и передаточные функции систем автоматического управления
26. Правила преобразования структурных схем САУ
27. Передаточная функция разомкнутой САУ
28. Передаточная функция замкнутой САУ по выходной координате относительно задающего воздействия
29. Передаточная функция замкнутой САУ по выходной координате относительно возмущающего воздействия
30. Передаточная функция замкнутой САУ по ошибке (отклонению) относительно задающего воздействия
31. Передаточная функция замкнутой САУ по ошибке (отклонению) относительно возмущающего воздействия
32. Устойчивость непрерывных линейных систем автоматического регулирования
33. Критерий устойчивости Рауса-Гурвица
34. Критерий устойчивости Найквиста для статических САУ
35. Критерий устойчивости Найквиста для астатических САУ
36. Особенности применения критерия Найквиста для неминимально-фазовых систем
37. Показатели качества переходного процесса
38. Оценка качества регулирования в установившемся режиме. Теорема о конечном значении
39. Расчет установившихся ошибок статических САУ
40. Расчет установившихся ошибок астатических САУ
41. Методы повышения точности систем в установившемся режиме
42. Методы коррекции динамических свойств систем

43. Пассивные корректирующие устройства
44. Интегрирующий RC-контур первого порядка
45. Дифференцирующий RC-контур первого порядка
46. Интегрирующий RC-контур второго порядка
47. Дифференцирующий RC-контур второго порядка
48. Коррекция динамических свойств системы с помощью ПКУ
49. Коррекция динамических свойств системы с помощью ОС
50. Общие сведения о синтезе САУ и синтезе корректирующих устройств
51. Методика синтеза корректирующих устройств
52. Стандартные настройки и их применение
53. Настройка на оптимум по модулю
54. Настройка на симметричный оптимум
55. Общие понятия и определения теории дискретных САУ
56. Квантование по уровню
57. Квантование по времени
58. Квантование по времени и уровню
59. Решетчатая функция
60. Линейные разностные уравнения с постоянными коэффициентами
61. Дискретное преобразование Лапласа
62. Математическое описание процессов в дискретных элементах
63. Структурно-динамическая схема и дискретные передаточные функции цифровой САУ
64. Необходимое и достаточное условие устойчивости дискретной САУ
65. Особенности анализа устойчивости линейных дискретных стационарных систем
66. Особенности анализа качества линейных дискретных стационарных систем