

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ  
ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Б1.Б.19 Технические средства автоматизации и управления**

**Направление подготовки (специальность) 27.03.04 Управление в технических системах**

**Профиль подготовки (специализация) Интеллектуальные системы обработки информации и управления**

**Квалификация выпускника бакалавр**

**Форма обучения заочная**

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>1. Конспект лекций.....</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Лекция № 1 Введение .Типовые структуры и средства систем автоматизации и управления. Технические средства информации. Технические средства получения информации о состоянии объекта управления Технические средства обработки, хранения информации и выработки командных воздействий .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2 Лекция № 2 Технические средства использования командной информации и воздействия на объект управления.....</b>	<b>5</b>
<b>1.3 Лекция №3 Комплексы технических средств. Программно-технические комплексы .....</b>	<b>14</b>
<b>2. Методические указания по выполнению лабораторных работ.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1 Лабораторная работа № ЛР-1Технические средства получения информации о состоянии объекта управления .....</b>	<b>18</b>
<b>2.2 Лабораторная работа № ЛР-2 Технические средства получения информации о состоянии объекта управления .....</b>	<b>19</b>
<b>2.3 Лабораторная работа № ЛР-3Технические средства приема, преобразования и передачи измерительной и командной информации на объект управления.....</b>	<b>20</b>
<b>3. Методические указания по проведению практических занятий.....</b>	<b>21</b>
<b>3.1 Практическое занятие № ПЗ-1 Технические средства использования командной информации и воздействия на объект управления.....</b>	<b>21</b>
<b>3.2 Практическое занятие № ПЗ-2. Технические средства приема, преобразования и передачи измерительной и командной информации на объект управления.....</b>	<b>60</b>
<b>3.3 Практическое занятие № ПЗ-3 Комплексы технических средств. Программно-технические комплексы.</b>	

# 1. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

## 1 Лекция № 1 Технические средства получения информации о состоянии объекта управления (2 часа).

**Тема:** «Назначение и состав технических средств систем автоматизации и управления».

### 1.1.1 Вопросы лекции:

1. Назначение и состав технических средств систем автоматизации и управления.
2. Типовое обеспечение систем автоматизации и управления.

### 1.1.2 Краткое содержание вопросов:

#### *1. Назначение и состав технических средств систем автоматизации и управления.*

Задачи повышения эффективности производства и качества выпускаемой продукции, а также обеспечения нового качества управляемости являются насущными для любого предприятия, особенно, если технологические процессы сложны и малейший сбой может привести к существенным экономическим потерям или создать опасную ситуацию.

Реальным инструментом для решения этих задач является автоматизированная система управления технологическими процессами – АСУ ТП.

Автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУ ТП) — комплекс технических и программных средств, предназначенный для автоматизации управления технологическим оборудованием на промышленных предприятиях. Человеческое участие при этом сведено к минимуму, но всё же присутствует на уровне принятия наиболее ответственных решений.

Основа автоматизации технологических процессов — это перераспределение материальных, энергетических и информационных потоков в соответствии с принятым критерием управления.

#### **Назначение АСУ ТП**

Основными целями автоматизации технологических процессов являются:

- Повышение эффективности производственного процесса.
- Повышение безопасности.
- Повышение экологичности.
- Повышение экономичности.

Достижение целей осуществляется посредством широкого функционала АСУ ТП.

Основные функции:

1. Автоматическое управление параметрами технологического процесса. Контроллер системы осуществляет регулирование на основании пропорционально - интегрально - дифференциального закона, что позволяет достичь оптимальных переходных процессов запуска и остановки оборудования, быстрой и адекватной реакции системы на внешние изменения. Это позволяет достигать высоких качественных показателей в других технологических процессах.

2. Сбор, обработка, отображение, выдача управляющих воздействий и регистрация информации о технологическом процессе и технологическом оборудовании. Контроллер системы в автоматическом режиме собирает, обрабатывает информацию от датчиков процесса, отображает её на автоматизированное рабочее место оператора в виде мнемосхемы. Мнемосхема оперативно информирует оператора обо всех технологических параметрах в режиме реального времени. На основании собранных данных контроллер АСУ ТП вырабатывает сигналы управления для исполнительных механизмов.

3. Распознавание, сигнализация и регистрация аварийных ситуаций, отклонений процесса от заданных пределов, отказов технологического оборудования. На основе анализа собранных данных, контроллер системы распознаёт выход параметров за установки и

сигнализирует оператору, либо автоматически блокирует нежелательное развитие ситуации.

4. Представление информации о технологическом процессе и состоянии оборудования в виде мнемосхем с индикацией на них значений технологических параметров. Вся текущая информация отображается оператору в виде удобных мнемосхем, с отображением на них числовых и графических данных процесса.

5. Дистанционное управление технологическим оборудованием с автоматизированным рабочего места оператора. Управление технологическим оборудованием осуществляется автоматически, либо вручную с рабочего места оператора.

6. Регистрация контролируемых параметров, событий, действий оператора и автоматическое архивирование их в базе данных. Все параметры и события в системе автоматически архивируются на сервере системы. Тревожные сообщения и предпринятые оператором действия (или бездействие) фиксируются с привязкой ко времени, что значительно повышает ответственность и внимательность операторов, стимулирует их к более детальному изучению техпроцесса. Наглядно организованный просмотр произошедших событий позволяет выявить причину аварийной ситуации и выработать необходимые мероприятия для исключения повторения аналогичных ситуаций.

7. Предоставление информации из базы данных в виде трендов, таблиц, графиков. Расположенная на сервере системы база данных позволяет получать не только текущую, но и архивную информацию в виде трендов, таблиц, графиков. Распечатка стандартных форм отчётности позволяет более качественно организовать делопроизводство.

8. Многоуровневое парольное ограничение доступа к системе.

Все функции системы, изложенные выше, имеют ограничение в доступе к ним. Различные уровни парольной защиты позволяют гибко организовать доступ к различным функциям системы. Доступ к жизненно важным параметрам и уставкам, разрешен только специально обученному инженерному составу, с персонаифицированными паролями. Выделяется, так же, уровень оператора и руководителя. Каждый оператор имеет свой персональный пароль, войдя под которым в систему, он принимает на себя всю ответственность за ведение технологического процесса. Для руководителя предоставляется вся необходимая информация о прохождении техпроцесса, в режиме просмотра.

## *2. Типовое обеспечение систем автоматизации и управления.*

### **Состав АСУ ТП**

Составными частями АСУ ТП могут быть отдельные системы автоматического управления и автоматизированные устройства, связанные в единый комплекс. Такие как системы диспетчерского управления и сбора данных, распределенные системы управления и другие, более мелкие системы управления. Как правило, АСУ ТП имеет единую систему операторского управления технологическим процессом в виде одного или нескольких пультов управления, средства обработки и архивирования информации о ходе процесса, типовые элементы автоматики: датчики, устройства управления, исполнительные устройства.

На нижнем уровне, контроллеры АСУ ТП выполняют измерение параметров технологического процесса и управляют его протеканием. Передают, через коммуникационный сервер сетевого уровня, информацию на верхний уровень.

На верхнем уровне расположены операторские станции и сервер системы. На сервере системы располагается вся архивная информация, база данных ПО контроллеров. На операторских станциях отображается мнемосхема объекта, со всеми текущими, измеренными параметрами и оператор ведёт технологический процесс, имея всю нужную информацию на экране монитора.

Аппаратные средства:

- контроллеры;
- устройства для сопряжения контроллеров с датчиками и исполнительными механизмами;

- модули цифрового интерфейса;
- операторские станции и серверы системы;
- сети;
- автоматизированная система диспетчерского управления для передачи в диспетчерскую технологических параметров.

Программные средства:

- операционные системы реального времени;
- средства разработки и исполнения технологических программ;
- системы сбора данных и оперативного диспетчерского управления.

Основная цель внедрения АСУ ТП - это повышение экономической эффективности предприятия. Её достижение возможно только при грамотном проведении всего комплекса работ в области создания интегрированных систем комплексной автоматизации, построенных на базе современных технических, программных и коммуникационных средств и технологий. Компания «Арман» обладает всеми необходимыми технологическими и интеллектуальными ресурсами для решения задач в области АСУ ТП.

## **2 Лекция № 2 Технические средства использования командной информации и воздействия на объект управления (2 часа).**

**Тема:** Технические средства информации. Технические средства получения информации о состоянии объекта управления.

### **1.2.1 Вопросы лекции:**

1. Датчики. Параметрические и генераторные датчики.
2. Датчики перемещения, датчики скорости, датчики температуры, датчики давления.
3. Измерительные преобразователи: общие сведения, классификация.
4. Статические и динамические характеристики измерительных преобразователей.

### **1.2.2 Краткое содержание вопросов:**

#### *1. Датчики. Параметрические и генераторные датчики.*

**Датчик** - первичный преобразователь контролируемой или регулируемой величины в выходной сигнал, удобный для дистанционной передачи и дальнейшего использования.

Это элемент:

- измерительного,
- сигнального,
- регулирующего
- управляющего

устройств, преобразующий контролируемую величину (температуру, давление, частоту, силу света, электрическое напряжение, ток и т.д.) в сигнал, удобный для измерения, передачи, хранения, обработки, регистрации, а иногда и для воздействия им на управляемые процессы.

В состав датчика входят:

- **воспринимающий (чувствительный) элемент;**
- один или несколько **промежуточных преобразователей**.

*Довольно часто датчик состоит только из одного воспринимающего органа (например: термопары, термометр сопротивления и т.д.)*

**1. Чувствительность датчика** - изменение выходной величины в зависимости от изменения входной величины;

**2. Погрешность датчика** - изменение выходного сигнала, возникающее в результате изменения внутренних свойств датчика или изменения внешних условий его работы.

**3. Инерционность датчика** - отставание изменений выходной величины от изменений входной величины.

Все эти показатели датчиков необходимо учитывать при выборе датчиков для автоматизации конкретной машины или технологического процесса.

**A. В зависимости от вида входной (измеряемой) величины** различают:

- датчики механических перемещений (линейных и угловых), - пневматические,
- электрические,
- расходомеры,
- датчики скорости,
- датчики ускорения,
- датчики усилия,
- датчики температуры,
- датчики давления и др.

*В настоящее время существует приблизительно следующее распределение доли измерений различных физических величин в промышленности:*

- температура – 50%,
- расход (массовый и объемный) – 15%,
- давление – 10%,
- уровень – 5%,
- количество (масса, объем) – 5%,
- время – 4%,
- электрические и магнитные величины – менее 4%.

**B. По виду выходной величины, в которую преобразуется входная величина,** различают:

- неэлектрические,
- электрические (большинство):
  - а) датчики постоянного тока (ЭДС или напряжения), б) датчики амплитуды переменного тока (ЭДС или напряжения),
  - в) датчики частоты переменного тока (ЭДС или напряжения),
  - г) датчики сопротивления (активного, индуктивного или емкостного) и др.

**Достоинства электрических измерений:**

- электрические величины удобно передавать на расстояние, причем передача осуществляется с высокой скоростью;
- электрические величины универсальны в том смысле, что любые другие величины могут быть преобразованы в электрические и наоборот;
- они точно преобразуются в цифровой код и позволяют достигнуть высокой точности, чувствительности и быстродействия средств измерений.

## *2. Датчики перемещения, датчики скорости, датчики температуры, датчики давления.*

**Различают три класса датчиков:**

- **аналоговые** датчики, т. е. датчики, вырабатывающие аналоговый сигнал, пропорционально изменению входной величины;
- **цифровые** датчики, генерирующие последовательность импульсов или двоичное слово;
- **бинарные** (двоичные) датчики, которые вырабатывают сигнал только двух уровней: "включено/выключено" (иначе говоря, 0 или 1) - получили широкое распространение благодаря своей простоте.

**Требования, предъявляемые к датчикам:**

- однозначная зависимость выходной величины от входной;
- стабильность характеристик во времени;
- высокая чувствительность;
- малые размеры и масса;

- отсутствие обратного воздействия на контролируемый процесс и на контролируемый параметр;
- работа при различных условиях эксплуатации;
- различные варианты монтажа.

### **С. По принципу действия:**

- **параметрические** (датчики-модуляторы) - входную величину преобразуют в изменение какого-либо электрического параметра ( $R$ ,  $L$  или  $C$ ) датчика.

- **генераторные** - осуществляют непосредственное преобразование входной величины в электрический сигнал;

**Параметрические датчики** (датчики-модуляторы) входную величину  $X$  преобразуют в изменение какого-либо электрического параметра ( $R$ ,  $L$  или  $C$ ) датчика.

Передать на расстояние изменение перечисленных параметров датчика без энергонесущего сигнала (напряжения или тока) невозможно.

*Поэтому параметрические датчики требуют применения специальных измерительных цепей с питанием постоянным или переменным током.*

### **3. Измерительные преобразователи: общие сведения, классификация.**

Измерительные преобразователи можно делить на группы по различным классификационным признакам.

1. По виду выходных сигналов. Рис. 8.(ГОСТ, ГСП).  
2. В зависимости от вида контролируемой неэлектрической величины датчики делятся на группы:

- датчики механических величин;
- датчики тепловых величин;
- датчики оптических величин и т.д.

Преобразование осуществляется по схеме: измеряемая величина - механическое перемещение - электрическая величина.

3. По физическому явлению, на котором основана работа чувствительного элемента. В зависимости от принципа преобразования датчики делятся на две группы:

a) **параметрические** или пассивные датчики, в которых изменение контролируемой величины  $X$  сопровождается изменением сопротивления датчика (активного, индуктивного, емкостного). При этом наличие постороннего источника энергии является обязательным условием работы параметрического датчика.

б) **генераторные** или активные датчики, в которых изменение контролируемой величины  $X$  сопровождается изменением ЭДС на выходе датчика, возникновение ЭДС может происходить за счет термоэлектричества, пьезоэффекта и т.д.

Генераторные датчики не требуют дополнительного источника энергии, поэтому мощность выходного сигнала всегда меньше мощности входного сигнала.

Таблица 2

#### **Классификация датчиков.**

Параметрические	Генераторные
Потенциометрические ( $R - V$ )	Термоэлектронные ( $T - V$ )
Тензорезистивные ( $R - V$ )	Пьезоэлектрические ( $P - V$ )
Индуктивные ( $\omega L - V$ )	Индукционные ( $L - V$ )
Емкостные ( $1/\omega C - V$ )	Трансформаторные ( $B - V$ )
Фотоэлектрические ( $F - V$ )	Фотоэлектрические ( $F - V$ )
Кодовые	Радиационные

Датчики осуществляют первичное преобразование физико-химической величины, как правило, в какой-либо электрический параметр: напряжение, ток, сопротивление, емкость, индуктивность. Поэтому датчики еще называют первичными преобразователями.

Дальнейшее измерение электрических параметров осуществляется хорошо известными стандартными методами.

### Резистивные ИП

*a) Потенциометрические ИП* преобразуют механические перемещения в изменения сопротивления реостата. По назначению датчики бывают линейных и угловых перемещений. Потенциометрический датчик представляет собой реостат, включённый по схеме потенциометра. При перемещении подвижного контакта под воздействием контролируемой величины  $X$  происходит изменение сопротивления датчика. В зависимости от закона изменения сопротивления различают линейные и функциональные потенциометры, а в зависимости от схемы включения полярные и реверсивные.

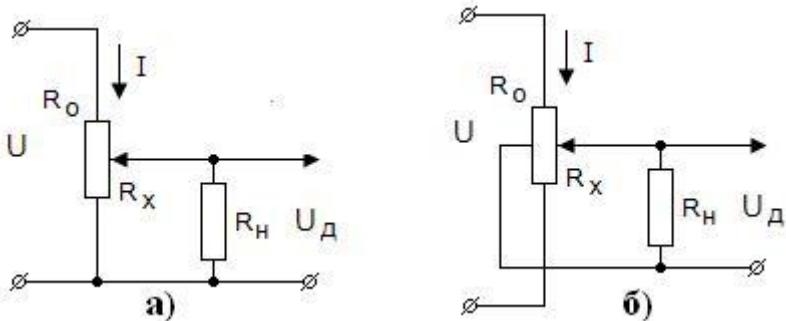


Рисунок 2 - Потенциометрические датчики: а) полярный, б) реверсивный.

Выведем основные соотношения для линейного потенциометра. Введем обозначения  $R_0$  полное сопротивление потенциометра,  $R_x$  сопротивление при заданном положении движка,  $R_h$  сопротивление нагрузки; тогда для перемещения движка  $X$ , для коэффициента нагрузки  $\alpha$ , имеем:

$$x = R_x / R_0 ; \quad \alpha = R_x / R_h ;$$

Напряжение на выходе потенциометра ( $U_d$ ) определится по формуле: Рис. 22.

$$U_d = I \cdot \frac{R_h \cdot R_x}{R_h + R_x} = \frac{\frac{R_h \cdot R_x}{R_h + R_x} U_0}{\left( \frac{R_h \cdot R_x}{R_h + R_x} \right) + \frac{R_h \cdot R_x}{R_h + R_x}} = U \frac{x}{1 + \alpha x - \alpha x^2}$$

$$f(\alpha, x) = \frac{U_d}{U_0} = \frac{x}{1 + \alpha x - \alpha x^2}$$

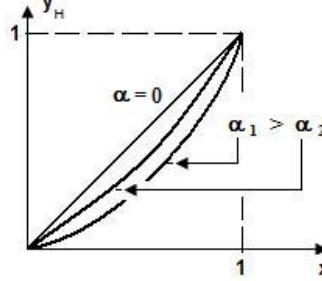


Рисунок 3 - Характеристика потенциометрического датчика.

Если  $R_h \gg R_0$ , то  $\alpha \rightarrow 0$ , при этом током в нагрузке можно пренебречь и  $I = f(x)$  становится линейной:

Если  $R_h \gg R_0$  не соблюдается, то необходимо либо учитывать погрешность, вызванную нелинейностью характеристики, либо рабочий участок необходимо ограничить. Погрешность от несогласованности сопротивлений потенциометра и нагрузки растет при увеличении коэффициента нагрузки, причем при малых перемещениях движка она незначительна. У проволочного потенциометра есть ошибка из-за ступенчатости его характеристики.

Наибольшее значение погрешность линейного потенциометра имеет при нахождении движка в среднем положении, т.е. при  $X=L/2$ .

$$\delta_{max} = R / (R + 4R_h) = \alpha / (\alpha + 4)$$

Передаточная функция потенциометрического датчика на низких а) и на высоких б) частотах:

$$W_{noст} = K$$

$$W_{перем} (LR) = \frac{K}{Tp + 1}$$

Достоинства: потенциометрических датчиков: простота конструкции, возможность получения достаточно прямолинейной характеристики, стабильность характеристик, значительная величина выходного сигнала.

Недостатки: пониженная надежность, износ, контактное сопротивление, относительно большие перемещения и малая скорость движка, дискретность.

#### Тензорезистивные датчики

Для изменения усилий и деформаций в деталях и конструкциях различных устройств применяются тензометрические или тензорезистивные датчики. Тензоэффект – изменение активного сопротивления проводников при механической деформации материала. Величина тензоэффекта зависит от ориентации силы и вида материала.

Тензочувствительность  $K_T$  – это отношение величины относительного изменения его сопротивления к относительному изменению линейного размера проволоки:

$$K_T = \frac{\delta R}{\delta l} = \rho_1 + \rho_2 = \frac{\delta \rho}{\delta l} + (1 + 2\mu)$$

где  $R$  – сопротивление провода,  $l$  – начальная длина деформируемого участка провода,  $1 + 2\mu$  – характеризует собой изменение геометрических размеров,  $\mu$  – коэффициент

Пуассона,  $m = \frac{\delta \rho}{\delta l}$  – коэффициент изменения удельного сопротивления материала с изменением его геометрических размеров.

Типы тензорезистивных датчиков: проволочные, фольговые, пленочные и полупроводниковые (тензолиты).

#### 3.2. Статические и динамические характеристики измерительных преобразователей.

##### Проволочные тензометрические датчики

Проволочные тензодатчики основаны на изменении сопротивления константановой проволоки диаметром 0,01 – 0,05 мм, сложенной в виде петлеобразной решетки между склеенными полосками тонкой бумаги. Сам датчик приклеивается к детали, деформацию которой нужно измерить. Изменение сопротивления датчика происходит при растяжении или сжатии, а также при изменении удельного сопротивления проволоки под влиянием механических напряжений. Для проволочных тензодатчиков выполненных из константа-

новой проволоки  $\mu=2$ ,  $R=2000$  Ом, деформация не более 0,3%, база - 5-30 мм, максимальная температура 500°C. Фольговые тензодатчики изготавливаются из тонких полосок фольги толщиной 4-12 микрон, методом фототравления, и могут иметь произвольную форму решетки у, например розетку. Рабочий ток 200 мА, сопротивление R 30-250 Ом. У них высокая теплоотдача и высокая восприимчивость к деформации.

**Достоинства тензодатчиков:** простота конструкции, отсутствие гистерезиса, близиерционность, стабильность.

**Недостатки:** малая чувствительность температурная погрешность.

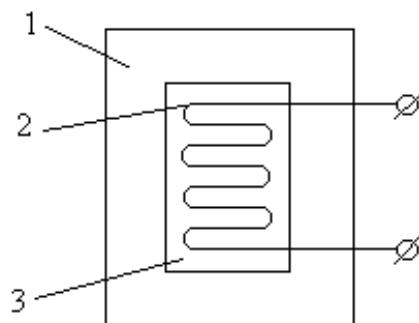


Рисунок 4 - Проволочный тензометрический датчик: 1- деталь, 2- бумага, 3- константановая проволока.

Полупроводниковые тензодатчики представляют собой пластины, различной формы, к которым присоединены металлические выводы и которые наклеены на поверхность детали. Они выполняются из тензорезистивных или кристаллических полупроводниковых материалов.

**Достоинства:** высокая тензочувствительность, компактность, малая погрешность (до 0,1%), быстродействие, большой срок службы .

**Недостатки:** ограниченный температурный диапазон без внешней компенсации, наличие гистерезиса, хрупкость.

Для компенсации нелинейности используют мостовую схему, в которой для термо-компенсации используют в одном из плеч моста параллельный терморезистор с другим ТКС по знаку. Рис.23. Область применения тензодатчиков: измерение сосредоточенных сил, моментов и т. д., измерение давлений, измерение ускорения. Особенно распространены датчики давления с термокомпенсацией, выполненные по технологии «кремний на сапфире».

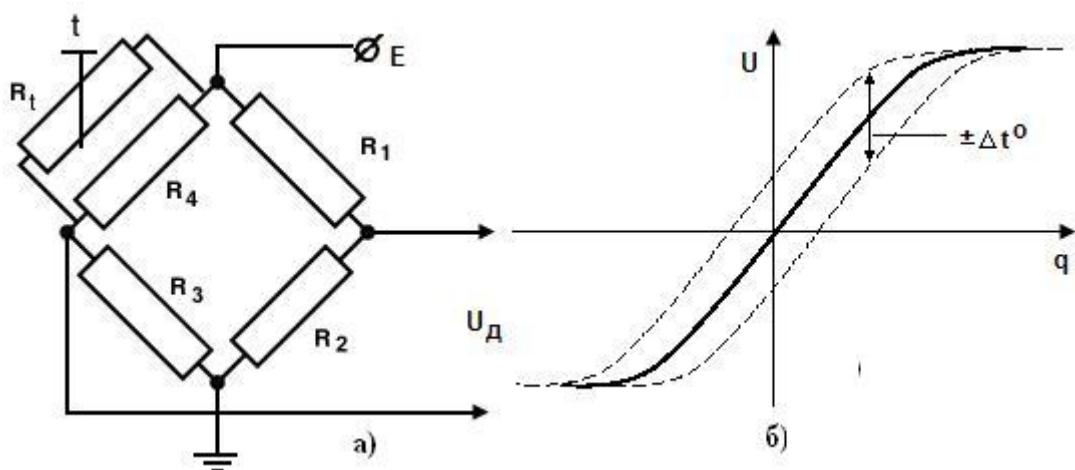


Рисунок 5 - Мостовой тензорезистивный датчик: а) – схема, б) – характеристика..

## Терморезистивные датчики

Терморезистивные датчики (термосопротивления) обладают свойством изменять свое электрическое сопротивление при изменении температуры. Они, применяются для измерения неэлектрических величин (температуры, скорости, концентрации, плотности вакуума и т.п.), характеризующих газовую или жидкую среду, в диапазоне температур от -250 до +1000°C. Терморезисторы изготавливаются из металлов и полупроводников.

1. Металлические термосопротивления являются чувствительными элементами в термометрах сопротивлений. Они изготавливаются из меди, платины, железа, никеля. Сплавы металлов не применяются, так как при добавлении в чистый металл примеси нарушается стабильность характеристики, уменьшается температурный коэффициент сопротивления, характеризующий чувствительность терморезистора к изменениям температуры.

Качество терморезистора характеризуется его чувствительностью к изменению температуры и определяется температурным коэффициентом сопротивления  $\alpha$ , представляющий собой относительное изменение сопротивления  $\Delta R/R$  на единицу приращения температуры  $\Delta t$ :

Зависимость сопротивления от температуры  $R_\Theta = R_0(1 + \alpha\Theta - \beta\Theta^2)$ , при малом  $\beta$   $\alpha \approx (\Delta R/R)/\Delta t$ .

Материалы терморезисторов должны иметь большой и постоянный температурный коэффициент сопротивления, большое удельное сопротивление. Их физические и химические свойства должны быть устойчивы при высоких температурах.

Лучший материал для изготовления металлических терморезисторов - платина, из которой изготавливают как технические, так и образцовые и эталонные датчики, пригодные для измерения температур в диапазоне от -200 до +500°C. Функция преобразования платинового терморезистора нелинейная и обычно аппроксимируется квадратичным трехчленом. Параметры:  $\alpha = 4 \cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1}$ ,  $\beta = 6 \cdot 10^{-7} \text{ К}^{-2}$ .

Функция преобразования медного терморезистора линейна и  $\alpha = 4,3 \cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1}$ . Медные терморезисторы применяют в диапазоне температур от -50 до +150°C. Основные параметры наиболее распространенных терморезисторов и обозначения их градуировок по ГОСТ 6651-84 приведены в табл. 3.

Таблица 3

Термометры сопротивления платиновые			Термометры сопротивления медные		
Сопротивление при 0°C ( $R_0$ )	Градуир.	Диапазон измерения, °C	Сопротивление при 0°C ( $R_0$ )	Градуир.	Диапазон измерения, °C
10	10П	От -200 до +750	10	10М	От -50 до 200
50	50П	От -260 до +1000	50	50М	От -50 до 200
100	100П	От +260 до +1000	100	100М	От -200 до 200

Конструкция термометра сопротивления приведена на рис. 24.



Рисунок 6 - Конструкция термометра сопротивления.

Термометр сопротивления имеет чувствительный элемент в виде тонкой проволоки 2 (диаметр 0,05 мм), намотанный на каркас 1(пластины из слюды) и помещенный в защитный чехол 3. Используются три или четыре провода для компенсации температурных колебаний окружающей среды. Номинальные функции преобразования (статические характеристики) медных и платиновых терморезисторов и их погрешность определяются ГОСТ 6651-84.

Железные и никелевые терморезисторы занимают промежуточное место, как более дешевые, чем платина и более стойкие, чем медь. Они работают в диапазоне температур от +100 до +150°C.

Достоинства термометров сопротивления: стабильность, линейность, большой диапазон, дешевизна (медь).

Недостатки: большие габариты, большая инерционность, малая величина R, окисляемость(медь).

## 2. Полупроводниковые терморезисторы (термисторы).

Термисторы изготавливаются из смеси окислов различных металлов (например, CuO, CoO, MnO)., величина электрического сопротивления термистора резко уменьшается при увеличении температуры Чувствительность терморезисторов к изменению температуры значительно выше, чем у металлических. Так при повышении температуры от 0 до +100°C сопротивление меди увеличивается всего на 43%, а у термисторов сопротивление R<sub>θ</sub> уменьшается в 20-70 раз, в зависимости от величины его температурного коэффициента

$$\text{сопротивления. } R_{\theta} = A_0 \cdot e^{-\frac{\beta}{\theta}}$$

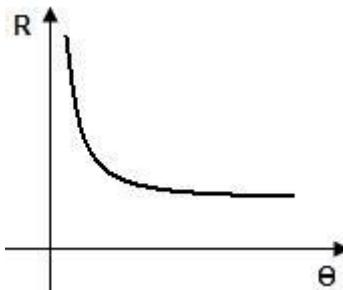


Рисунок 7 - Характеристика термистора.

Температурный коэффициент сопротивления термистора  $\chi = -\frac{\beta}{\theta^2}$  примерно в 6-10 раз больше, чем у металлических терморезисторов, для термисторов  $\chi = 40 \cdot 10^{-3} 1/\text{град}$ . Некоторые типы термисторов работают в диапазоне температур от -100 до +500°C и выше. Термисторы находят широкое применение для компенсации температурных погрешностей в измерительных схемах, и в качестве датчиков для измерения различных неэлектрических величин, влияющих на отвод тепла от терморезистора Рис. 26.

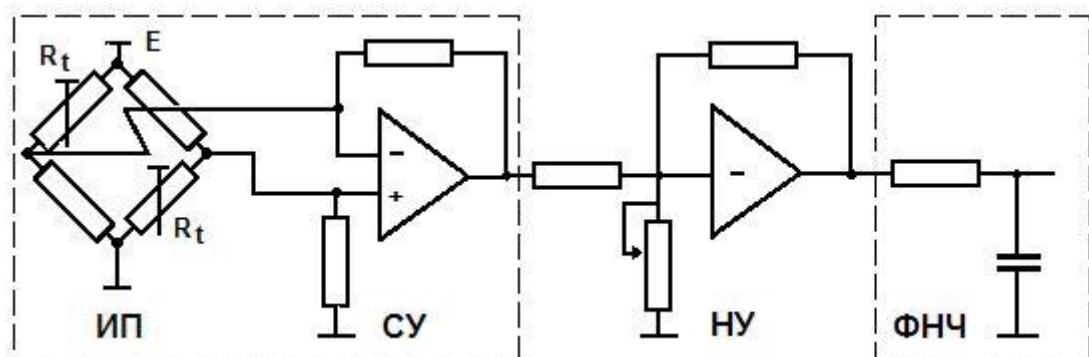


Рисунок 8 - Схема измерения на основе термистора.

Конструктивно термисторы изготавливаются в виде маленьких стерженьков (длиной 12 мм и диаметром 1,8мм), шайб, дисков и бусинок.

Достоинства: намного больше ТКС, намного меньше размер и инерционность, возможность работы в релейном режиме.

Недостатки: более узкий рабочий диапазон, нелинейность, большой разброс значений.

#### Термоэлектронный преобразователь (термопара).

Если два разных металла соединить концами и поместить места их спаев в среды с разными температурами, то в контуре из этих проводников возникает ЭДС (термоЭДС). Это эффект Зеебека.

Цепь, составленная из двух разнородных металлов, называется термопарой, а ЭДС, возникающая при нагреве спая называется термоэлектродвижущей силой. Проводники - это термоэлектроды,стыки - спай. Спай температура которого, поддерживается постоянной, называется холодным, а спай, соприкасающийся с измеряемой средой, - горячим. По величине термоЭДС можно судить о разности температур  $t_0 - t_1$

$$E(t_0, t_1) = E(t_0 - t_1); \Delta t = -50..2500^{\circ}\text{C}$$

При этом если известна температура холодного спая  $t_0$ , то можно определить температуру горячего спая  $t_1$ :

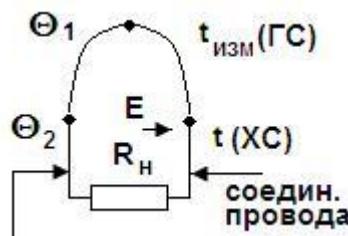


Рисунок 9 - Термопара.

В табл.4 приведены наиболее широко используемые термопары (ГОСТ 6616-84) и их основные характеристики (ГОСТ 3044-84). Маркировка ХА, ХК, ПП, ПР, ВР; на Западе – А, С, К, Н, Н.

Таблица 4

Тип термо-пары	Материал термоэлектро-дов	Обозначение градуировки	Диапазон измере-ния при длитель-ном измерении, $^{\circ}\text{C}$
TXK	Хромель-копель	XK (L)	-200...+600
TXA	Хромель-алюмель	XA (K)	-200...+1000
TPP	Платинородий (10%) – платина	ПП (S)	0...+1300
TBP	Вольфрамрений (5%) – вольфрамрений (20%)	BP (A)	0...2200

Чувствительность термопар различна и лежит в диапазоне от 10 мкВ/0°C (ПП) до 70 мкВ/0°C(ХК). Напряжение до 100мВ называется малым. Малые напряжения требуют специальных схем подключения усиления и коррекции (не взрывоопасны).

Номинальная функция преобразования термопар со стандартной градуировкой задается градуировочной таблицей. Она определяет зависимость ЭДС  $E(t, t_0)$  термопары от изменяемой температуры  $t$  при температуре свободных спаев  $t_0=0^{\circ}\text{C}$ . Одним из источников погрешности термопары является несоответствие температуры свободных концов

термопары температуре, при которой была произведена градуировка. Если в условиях измерения температура свободных спаев  $t'_0$  не равна температуре  $t_0$ , то ЭДС термопары  $E(t,t'_0)$  отличаются от ЭДС  $E(t,t_0)$ , которая нужна для определения температуры по стандартной градуировке. и необходимо введение поправки.

Погрешность стандартных термопар  $\delta = 0,1..0,2\%$ .

Передаточная функция термопары:

$$W(p) = \frac{Ke^{-\tau p}}{Tp + 1}.$$

Достоинства: большой диапазон, стабильность, надежность.

Недостатки: табличная градуировка, слабый сигнал и низкая чувствительность, большая инерционность, необходимость фиксации температуры холодного спая.

**3 Лекция №3 Технические средства приема, преобразования и передачи измерительной и командной информации на объект управления (2 часа).**

**Тема:** «Общие характеристики исполнительных устройств. Исполнительные устройства: электрические серводвигатели, гидравлические двигатели».

### 1.3.1 Вопросы лекции:

1. Типовые структуры и состав исполнительных устройств.
2. Основные характеристики исполнительных устройств.
3. Исполнительные устройства: электрические серводвигатели, гидравлические двигатели.
4. Пассивные и активные элементы.

### 1.3.2 Краткое содержание вопросов:

#### *1. Типовые структуры и состав исполнительных устройств.*

Эффективность системы автоматического управления (САУ) в значительной мере определяется правильностью выбора исполнительного элемента. *Исполнительный элемент* (ИЭ), исполнительный механизм (ИМ) - устройство, обеспечивающее непосредственную реализацию алгоритма управления с помощью физического воздействия на объект управления, например изменение положения потенциометра, механическое воздействие на клапан и т.д.

Он представляет собой элемент САУ, соединенный с объектом управления (ОУ) через регулирующий орган (РО). Основная задача ИЭ состоит в том, чтобы усилить сигнал, поступающий на его вход, от регулятора, до уровня достаточного для перемещения РО. РО, в свою очередь, изменяет поток вещества или энергии, поступающий в ОУ, осуществляя требуемое воздействие на объект.

Основными элементами ИМ являются привод (двигатель) и передаточный механизм (редуктор). В некоторых случаях РО является неотъемлемой частью ИЭ и рассматривается с ним как единое целое.

Многообразие ОУ и САУ приводит к тому, что в них используются разные ИМ. Так, к ИЭ, в ряде случаев, можно отнести электромагнитные реле, магнитные пускатели, контакторы, электромагнитные муфты, электродвигатели постоянного и переменного тока. В других случаях к ИЭ относят нагревательные, вентиляционные и другие устройства, с помощью которых осуществляется управление параметрами ОУ.

Исполнительные элементы по виду используемой энергии входит в одну из ветвей ГСП и делятся на группы: электрические, пневматические и гидравлические. Основные характеристики ИЭ:

1. быстродействие, инерционность, зона нечувствительности;

2. номинальные и максимальные значения мощности или производительности, вращающего момента на выходном валу или усилия на выходном штоке;
3. точность отработки команды,
4. энергопотребление и кпд,
5. весогабаритные показатели на 1 единицу мощности,
6. надежность.

Так же как и у других элементов автоматики, и каждого типа ИЭ есть статические и динамические характеристики. Для их получения используют следующую модель ИЭ - это многополюсник, у которого выделяют три группы параметров: входные, выходные и возмущения. Рис. 10.

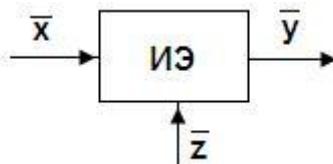


Рисунок 10 - Модель исполнительного элемента: X-входные параметры, Y- выходные, Z- возмущения.

Выходной параметр Y есть функция, как входного параметра X, так и возмущения Z.

$$Y = F(X, Z).$$

При различных, но фиксированных (постоянных) значениях возмущения получаем семейство регулировочных статических характеристик.

$$Y = F_1(X, Z=\text{const}).$$

При различных, но фиксированных (постоянных) значениях входного воздействия получаем семейство внешних (механических) статических характеристик.

$$Y = F_2(Z, X = \text{const}).$$

Аналогично, получаем две передаточные функции: по задающему воздействию и по возмущению.

$$W_x(p) = Y(P)/X(p), \quad W_z(p) = Y(P)/Z(p).$$

## 2. Основные характеристики исполнительных устройств.

### Конструкция и принцип действия двигателя постоянного тока.

В качестве исполнительных элементов во многих устройствах автоматики: в радиоэлектронных, оптических, механических, а также и портативных аппаратах, снабжённых автономными источниками электрической энергии, широко используются электродвигатели постоянного тока. Эти двигатели имеют ряд преимуществ перед другими видами ИЭ: линейность механических характеристик (ДПТ), хорошие регулировочные свойства, большой пусковой момент, высокое быстродействие, большой диапазон по мощности различных типов ДПТ и хорошие весогабаритные показатели.

Основным недостатком этих двигателей является наличие щеточно-коллекторного устройства, ограничивающего срок службы ДПТ и удорожающего обслуживания ДПТ, вносящего дополнительные потери, являющегося источником помех и практически исключающего возможность использования ДПТ в условиях агрессивных и взрывоопасных сред.

*1. Исполнительные устройства: электрические серводвигатели, гидравлические двигатели.*

*Исполнительный элемент (исполнительное устройство)* - функциональный элемент системы автоматического управления, осуществляющий воздействие на объект управления путем изменения потока энергии и потока материалов, поступающих на объект. Исполнительные элементы в основном бывают двух типов:

с механическим двигателем (в частности, сервомотор, серводвигатель или сервопривод), в этом случае исполнительный элемент производит механическое перемещение регулирующего органа;

с электрическим выходом, в этом случае воздействие, непосредственно прикладываемое к объекту регулирования, имеет электрическую природу.

Например, в регуляторе напряжения генератора постоянного тока регулирующим воздействием является напряжение возбуждения, получаемое от усилителя.

В зависимости от характера объекта и вида вспомогательной энергии, применяемой в системе автоматического управления, роль исполнительных элементов выполняют самые разные конструктивные элементы: электронные, электромашинные, магнитные или полупроводниковые усилители, реле, пневматические или гидравлические сервомоторы и др.

Динамические характеристики исполнительных элементов с механическим выходом отличаются значительно большей инерционностью, чем элементы с электрическим выходом. Часто исполнительные элементы второго типа служат приводом исполнительных элементов первого типа.

Сервоэлектродвигатели, применяемые в качестве исполнительных элементов с механическим выходом, отличаются специальным исполнением, обеспечивающим пониженную инерционность (удлиненным ротором малого диаметра, полым ротором). Значительно меньшую инерционность при той же мощности имеют гидравлические и пневматические серводвигатели.

Требования к исполнительным элементам определяются характеристиками объекта регулирования и требуемым качеством процесса регулирования.

*Исполнительный механизм (сервопривод)* - исполнительный элемент с механическим выходом. Исполнительные механизмы классифицируются по назначению и типу управляемых элементов, виду осуществляемых перемещений, роду применяемой энергии.

Исполнительные механизмы предназначаются для привода:

- элементов, регулирующих потоки энергии, жидкости, газа, сыпучих и перемещаемых твердых тел (реостатов, клапанов, задвижек и заслонок, направляющих аппаратов турбин и насосов, шлагбаумов и других устройств);
- элементов следящих систем (копировальных станков, манипуляторов, автокомпенсационных, регулирующих и других устройств);
- рулевых устройств транспортных объектов;
- особых элементов систем управления (противовесов в грузоподъемных сооружениях, зажимных автоматических устройств и т.п.).

К числу контрольных элементов исполнительных механизмов относятся:

- механизм обратной связи, определяющий характеристику регулятора либо обеспечивающий передачу сигнала на дистанционный указатель положения исполнительного механизма;
- концевые или путевые выключатели, которые останавливают исполнительный механизм в крайних, а иногда и промежуточных положениях (например, трехпозиционный исполнительный механизм), и концевые выключатели, в некоторых случаях выполняющие сигнальные функции;
- измеритель врачающего момента на выходной оси исполнительного механизма, обеспечивающий выключение двигателя или его проскальзывание в специальной муфте после достижения предельно допустимого момента, что необходимо для получения запорного или зажимного действия исполнительного механизма или предохранения его от аварий в случае попадания под управляемое устройство посторонних предметов;

- тормозное устройство при быстроходных двигателях для борьбы с инерцией в момент остановки;
- защелка с выключателем главного соленоида и спускное расцепляющее устройство в исполнительном механизме с соленоидами большой мощности.

В большинстве электрических исполнительных механизмов мощность электродвигателей 10... 1000 Вт. Пневматические исполнительные механизмы работают при давлениях до 0,6 МПа, а гидравлические - до 3 МПа. В некоторых случаях мощность исполнительных механизмов достигает десятков киловатт, а давление - 10 МПа. Исполнительные механизмы обычно развивают на выходном валу врачающий момент от 1 до 100 Н · м при числе рабочих оборотов от 0,25 до 30  $\text{с}^{-1}$  либо усилие от 100 до 5000 Н при ходе от 25 до 750 мм.

В приборах точной механики применяют исполнительные механизмы с меньшими врачающими моментами и переставляющими усилиями. Время перестановки устройства управляемого исполнительного механизма из одного крайнего положения в другое обычно находится в пределах 5... 120 с. Время перестановки более 120 с можно увеличить с помощью регуляторов прерывистого (шагового) действия, чтобы не усложнять чрезмерно редуктор. Время перестановки соленоидных, а также дозирующих и аварийных исполнительных механизмов доходит до долей секунд.

## *2.Пассивные и активные элементы.*

*Исполнительный механизм электрический* - исполнительный механизм, в котором перемещение регулирующего органа производится за счет электрической энергии. Электрические исполнительные механизмы бывают двух основных типов:

с приводом от электродвигателя (наиболее широко распространены в схемах общепромышленной автоматики);

с приводом от электромагнита (обычно соленоида).

В электрических исполнительных механизмах применяются асинхронные двигатели. Для исполнительных устройств малой мощности - двухфазные с короткозамкнутым или полым ротором, для более мощных - трехфазные с короткозамкнутым или массивным ротором. Для уменьшения выбега двигателя и улучшения качества регулирования используется электрическое торможение или электромагнитные тормоза, которые накладываются при снятии с двигателя напряжения питания.

Управление электрическим исполнительным механизмом с помощью соответствующих обратных связей можно построить так, чтобы перемещение регулирующего органа или скорость его движения изменялись пропорционально сигналу управления.

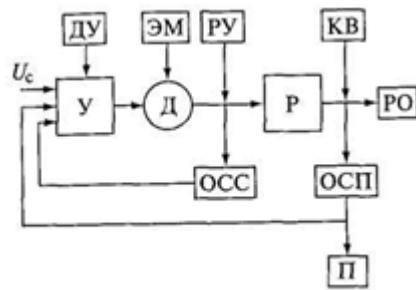
Конструктивно электродвигательные исполнительные механизмы выполняются, как правило, с вращательным движением выходного вала и реже с поступательным перемещением выходного штока. В системах общепромышленной автоматики для привода заслонок, кранов, шиберов и других устройств наиболее часто применяются однооборотные электрические исполнительные механизмы, в которых поворот выходного вала составляет 120... 170°. С помощью многооборотных электрических исполнительных механизмов обычно перемещаются такие регулирующие органы, как запорные вентили и задвижки.

Блок-схема электродвигательного исполнительного механизма представлена на рис. 14.2. Она работает следующим образом. Двигатель Д через редуктор Р перемещает регулирующий орган РО. Сигнал  $U_c$ , поступающий на вход электрического исполнительного механизма, имеет обычно недостаточную мощность для управления двигателем, поэтому он предварительно усиливается усилителем У. Концевые выключатели КВ служат для ограничения перемещения РО. Оператор может устанавливать РО с помощью устройства дистанционного управления ДУ, контролируя его положение прибором П, а при неисправности ДУ - штурвалом ручного управления РУ. Датчики обратной связи по положению ОСП, выполняемые в виде потенциометров, индуктивных датчиков или линейных индукционных потенциометров, и датчики обратной связи по скорости ОСС, выполняе-

мые в виде тахогенераторов постоянного или переменного тока, служат для ввода дополнительных сигналов, необходимых для получения требуемых характеристик от электрического исполнительного механизма.

Рис. 14.2. Блок-схема электродвигательного исполнительного механизма:

Д — двигатель; Р — редуктор; РО — регулирующий орган; У — усилитель; КВ — концевой выключатель; ДУ — устройство дистанционного управления; ЭМ — электромагнит; ООС, ОСП — датчики обратной связи соответственно по скорости и положению; П — контролльный прибор



Номинальный момент  $M$  на выходном валу и время  $T$  полного оборота выходного вала, т. е. быстродействие, являются основными характеристиками электродвигательного исполнительного механизма.

Мощность на валу двигателя  $P$ , необходимая для обеспечения заданных времени  $T$  и момента  $M$ , определяется по формуле

$$P = \frac{61,5M}{T\eta},$$

где  $\eta$  - КПД редуктора.

Инерционность привода электрического исполнительного механизма, определяемая временем от начала движения регулирующего органа до установления полной скорости, зависит от соотношения между пусковым моментом двигателя и моментом инерции привода. Пусковой момент обычно в 2...2,5 раза больше номинального. Важной характеристикой электрического исполнительного механизма является время запаздывания - время от момента подачи сигнала до начала вращения выходного вала.

## 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

### 2.1 Лабораторная работа №1 ( 2 часа).

**Тема:** «Технические средства получения информации о состоянии объекта управления»

**2.1.1 Цель работы:** Изучение принципа работы однофазных однополупериодной и двухполупериодных схем неуправляемых и управляемых выпрямителей; исследование основных характеристик выпрямителей.

#### 2.1.2 Задачи работы:

1. Изучить принцип работы однофазных неуправляемых и управляемых выпрямителей.
2. Изучить принцип построения схемы управления УВ.
3. Нарисовать схемы исследуемых выпрямителей.
4. Ознакомиться с порядком сборки схем на стенде.

#### 2.1.3 Описание (ход) работы:

1. Собрать схему однополупериодного выпрямителя без фильтра в соответствии с рис. 2.3.
2. Подать на схему напряжение, снять и зарисовать для номинального тока нагрузки ( $I_n = 100mA$ ) осциллограммы выпрямленного напряжения, напряжения на диоде, анодного тока диода, тока на выходе выпрямителя, тока вторичной и первичной обмоток трансформатора.

Осцилограммы рисовать в соответствии с их временным положением друг относительно друга для номинального значения тока нагрузки.

3. Снять и построить внешнюю характеристику выпрямителя, изменения величину нагрузки сопротивлением R11.

$$U_{cp} = f(I_{cp})$$

4. Определить внутреннее сопротивление выпрямителя в номинальном режиме.

$$R_{вых} = \Delta U_{вых} / \Delta I_{вых}$$

5. Собрать схему двухполупериодного мостового выпрямителя согласно рис. 2.4. и провести исследования, аналогичные п.п.2. - 4. ( $I_n = 200mA$ ).

6. Собрать на стенде схему управляемого выпрямителя согласно рис. 2.5.

7. Подать на схему напряжение, снять и зарисовать для номинального тока нагрузки ( $I_n = 100mA$ ) осцилограммы выпрямленного напряжения, напряжения на тиристорах, напряжения на управляющих электродах тиристоров(снимается относительно катодов тиристоров), тока на выходе выпрямителя, тока вторичной и первичной обмоток трансформатора.

Осцилограммы рисовать в соответствии с их временным положением друг относительно друга для номинального значения тока нагрузки.

8. Снять и построить внешние характеристики  $U_{cp} = f(I_{cp})$  выпрямителя для заданного преподавателем углов управления, изменения величину нагрузки сопротивлением R2.

9. Снять и построить регулировочную характеристику  $U_{cp}=f(\alpha)$  управляемого выпрямителя для номинального тока нагрузки. Угол управления изменяется резистором R3, а его величина определяется по осцилограмме выходного напряжения с помощью осциллографа.

10. Определить внутреннее сопротивление выпрямителя в номинальном режиме.

$$R_{вых} = \Delta U_{вых} / \Delta I_{вых}.$$

## 2.2 Лабораторная работа № 2 ( 2 часа).

**Тема:** «Технические средства использования командной информации и воздействия на объект управления»

**2.2.1 Цель работы:** Изучение схем пассивных RC и активного сглаживающих фильтров; исследование их основных характеристик.

### 2.2.2 Задачи работы:

1. Изучить принцип работы схем пассивных и активных фильтров.
2. Изучить порядок расчета схем фильтров и их качественных характеристик.
3. Для заданного преподавателем коэффициента сглаживания и известных параметрах RC фильтра рассчитать величину допустимой нагрузки.
4. Нарисовать схемы исследуемых фильтров.
5. Ознакомиться с порядком сборки схем на стенде.

### 2.2.3 Описание (ход) работы:

1. Собрать схемы для исследования пассивных емкостного и RC фильтров, представленных на рис. 3.3.
2. Для номинального тока ( $I_{ном} = 100mA$ ) нагрузки снять и построить осцилограммы напряжений на нагрузке без фильтра и с фильтром для двух схем рис. ЛР2.3.
3. Снять и построить зависимость коэффициента сглаживания фильтра от тока нагрузки

$$K_{сгл} = f(I_{cp}),$$

$$K_{\text{сгл}} = K'n / Kn; \quad \text{где}$$

$$K'n = \tilde{U}' \max / U'cp;$$

$$Kn = \tilde{U} \max / Ucp$$

$K'n, Kn$  - коэффициенты пульсаций соответственно на входе выходе фильтра,

-  $\tilde{U}' \max, \tilde{U} \max$  амплитуда переменной составляющей соответственно на входе и выходе фильтра,  
 $U'cp, Ucp$  - среднее значение напряжения соответственно на входе и выходе фильтра.

Сравнить рассчитанное значение допустимой для заданного значения Ксгл и полученное экспериментально.

Амплитудное значение выпрямленного напряжения на входе и выходе фильтра определить с помощью осциллографа.

4. Собрать схему активного фильтра, представленную на рис. 3.4.

5. Снять и построить зависимость коэффициента сглаживания фильтра от тока нагрузки

$$K_{\text{сгл}} = f(Icp),$$

где

$$K_{\text{сгл}} = K'n / Kn;$$

$$K'n = \tilde{U}' \max / U'cp;$$

$$Kn = \tilde{U} \max / Ucp$$

$K'n, Kn$  - коэффициенты пульсаций соответственно на входе выходе фильтра,

$\tilde{U}' \max, \tilde{U} \max$  - амплитуда переменной составляющей соответственно на входе и выходе фильтра,  
 $U'cp, Ucp$  - среднее значение напряжения соответственно на входе и выходе фильтра.

Сравнить рассчитанное значение допустимой для заданного значения Ксгл и полученное экспериментально.

Амплитудное значение выпрямленного напряжения на входе и выходе фильтра определить с помощью осциллографа. Зарисовать осциллограмму напряжений на входе и выходе фильтра.

### 2.3 Лабораторная работа №3 ( 2 часа).

**Тема:** «Технические средства приема, преобразования и передачи измерительной и командной информации на объект управления.»

**2.3.1 Цель работы:** Изучение принципов работы, методов расчета и особенностей настройки стабилизаторов напряжения, приобретение навыков их реализации на дискретных элементах и интегральных схемах.

#### 2.3.2 Задачи работы:

1. Изучить принцип работы схем компенсационных стабилизаторов напряжения.
2. Изучить порядок расчета схем компенсационных стабилизаторов напряжения и их качественных характеристик.

3. Для заданного преподавателем выходного напряжения и номинального тока нагрузки по известным элементам схемы стабилизатора рассчитать величины сопротивлений R10 и R7, а также Кст и Rвых.

3.2.4. Нарисовать схемы исследуемых стабилизаторов.

3.2.5. Ознакомиться с порядком сборки схем на стенде.

### **2.3.3 Описание (ход) работы:**

1. Собрать схему стабилизатора напряжения без блока защиты на основе схемы, представленной на рис. 4.6.

2. Установить на стенде рассчитанные ранее значения R10, R7 и R11. Включить стенд и замерить с помощью цифрового вольтметра выходное напряжение и сравнить с расчетным значением.

3. Установить заданные значения Uвых и Iном и изменяя входное напряжение (включая или отключая резистор R4) замерить входные и выходные напряжения. Определить реальный коэффициент стабилизации стабилизатора по формуле:

$K_{st} = (\Delta U_{вх}/U_{вх})/(\Delta U_{вых}/U_{вых})$  и сравнить с расчетным.

4. Изменяя сопротивление нагрузки R11 снять выходную характеристику стабилизатора

$$U_{вых} = f(I_h).$$

Ток изменяют от 0 до  $I_{hmax}$ . Рассчитать реальное выходное сопротивление Rвых стабилизатора и сравнить с расчетным.

5. Рассчитать к.п.д. стабилизатора, приняв токи на входе и выходе стабилизатора равными.

6. Собрать схему стабилизатора с защитой от токов к.з.

Изменяя величину нагрузки резистором R11 определить  $I_{hmax}$ , при котором срабатывает схема защиты. Определить ток нагрузки, который протекает через транзистор V8 после срабатывания защиты. Рассчитать мощность, которая рассеивается на этом транзисторе.

7. Сравнить все полученные экспериментальные данные с расчетными и объяснить возможные расхождения.

## **3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ**

### **3.1 Практическое занятие №1 ( 2 часа).**

**Тема:** Технические средства использования командной информации и воздействия на объект управления»

#### **3.1.1 Задание для работы:**

1. Изучить статические и динамические характеристики измерительных преобразователей

#### **3.1.2 Краткое описание проводимого занятия:**

Функциональная схема исследуемой системы приведена на рис. 2.1. Она состоит из двух блоков – электромеханического и электронного. Электромеханический блок включает двигатель постоянного тока с независимым возбуждением (**M**), генератор (**G**), использующийся для создания нагрузочного момента на двигатель, и тахогенератор (**ТГ**). Валы всех трех электрических машин соединены между собой. С помощью выключателя

**"Нагрузка"** к обмотке генератора можно подключить переменный резистор  $R_H$ , что дает возможность изменять момент нагрузки на двигателе. Одним из важнейших свойств двигателя постоянного тока является то, что ток якоря в установившемся режиме прямо пропорционален моменту нагрузки, приложенной к валу двигателя. Поэтому по амперметру "Н·м", включенному в цепь якоря двигателя, можно контролировать величину этого момента. С помощью вольтметра "Об/с", подключенного к выходу тахогенератора, измеряется напряжение, которое прямо пропорционально частоте вращения вала двигателя.

Второй блок системы – электронный – включает сменный модуль, тиристорный усилитель **ТУ**, питающий цепь якоря исполнительного двигателя (**М**), блоки питания (на схеме не показаны), элементы управления и измерительные приборы. В состав сменного модуля входит дифференциальный усилитель **DA1**, в котором происходит сравнение напряжения  $u_{oc}$  с напряжением  $u_{oad}$  и усиление их разности.

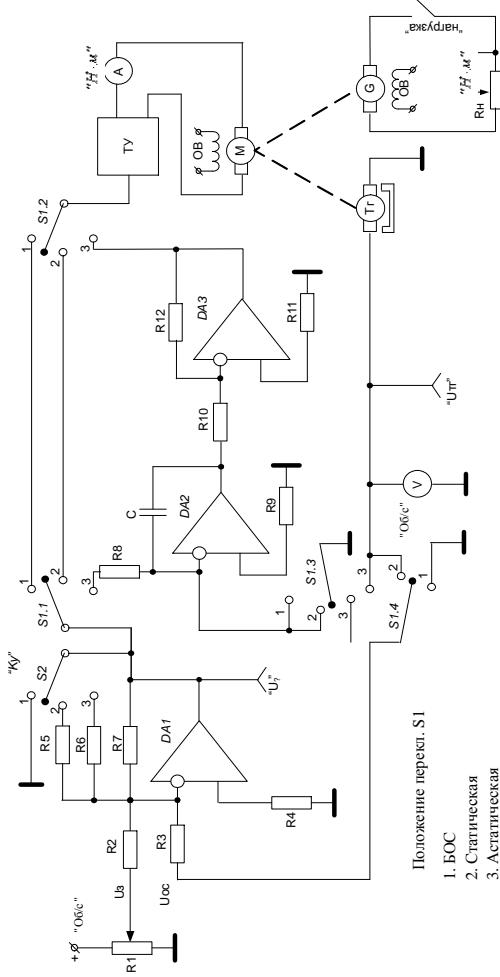


Рис. 2.1. Функциональная схема исследуемой системы

В этом же сменном модуле размещён интегратор, собранный на операционном усилителе **DA2** с конденсатором **C** в обратной связи. Операционный усилитель **DA3** служит для усиления выходного напряжения интегратора.

Коэффициент усиления  $K_y$  усилителя **DA1** можно изменять с помощью переключателя **S2**. Напряжение  $u_{oad} = u_{oad}(t)$  – задающее воздействие исследуемой системы. Его величина изменяется с помощью переменного резистора **R1**, который предназначен для задания желаемой скорости вращения вала исполнительного двигателя **M**. Напряжение  $u_{oc} = u_{oc}(t)$  является сигналом обратной связи.

С помощью переключателя **S1** имеется возможность отключать обратную связь (положение "БОС"), а также изменять структуру замкнутой системы управления (статическая – "стат" и астатическая – "астат"). Сменный модуль имеет две клеммы: клемму "**U<sub>ε</sub>**", на которую выведено напряжение, пропорциональное разности (сигналу рассогласо-

вания)  $\varepsilon(t) = u_{3ao}(t) - u_{oc}(t)$ , и клемму "Утг", на которую заведено напряжение тахогенератора.

В данной работе изучаются 3 системы управления скоростью двигателя: разомкнутая (переключатель **S1** в положении "БОС"), замкнутая статическая (переключатель **S1** в положении "стат") и замкнутая астатическая (переключатель **S1** в положении "астат").

**3.1.3. Результаты и выводы:** в ходе работы были изучены статические и динамические характеристики измерительных преобразователей

### 3.2 Практическое занятие №2 ( 2 часа).

**Тема:** «Технические средства приема, преобразования и передачи измерительной и командной информации на объект управления»

#### 3.2.1 Задание для работы:

1. Изучить конструкцию и принципы работы датчиков

#### 3.2.2 Краткое описание проводимого занятия:

Одной из важнейших характеристик систем управления является точность поддержания ими заданного значения управляемой величины. Высококачественная система должна иметь как можно меньшую ошибку.

В замкнутых системах автоматического управления(САУ), к которым относятся рассматриваемые статическая и астатическая САУ, ошибка  $\delta$  имеет 3 составляющие, т.е.

$$\delta = \delta_g + \delta_f + \delta_d, \quad (2.1)$$

где  $\delta_g$  – ошибка, вызванная задающим воздействием  $g(t)$ ;  $\delta_f$  – ошибка, вызванная действием внешних возмущений;  $\delta_d$  – ошибка чувствительного элемента (датчика), измеряющего регулируемую переменную системы.

Ошибка  $\delta_d$  определяется физической природой и конструктивным исполнением датчика и может быть уменьшена применением более точного датчика.

Составляющие ошибки системы  $\delta_g$  и  $\delta_f$  определяются структурными свойствами САУ. Построение САУ, т.е. рациональный выбор коэффициентов передачи звеньев системы, введение дополнительных и корректирующих звеньев, позволяет свести к минимуму эти составляющие ошибки.

В настоящей работе изучаются структурные свойства САУ, обеспечивающие минимальное, а при определенных входных воздействиях и нулевое значение структурной ошибки  $\delta_1 = \delta_g + \delta_f$ .

САУ по точности в установившемся режиме делятся на статические и астатические. Причем ошибка, вызванная постоянным по величине воздействием, называется **статической**.

Системы, в которых статическая ошибка по некоторому воздействию не равна нулю, называются **статическими** по этому воздействию.

Так рассматриваемая система (см. рис. 2.1) при положении переключателя S1 «стат» принципиально не может работать без статической ошибки  $\delta_{cmg}$  по задающему воздействию, поскольку эта ошибка является сигналом, по которому формируется напряжение для управления двигателем **M**.

Величина статической ошибки  $\delta_{cmg} = C_{0g}g_0 \neq 0$  обратно пропорциональна коэффициенту передачи  $K_p = K_y K_{ou}$  системы в разомкнутом состоянии, так как коэффициент

ошибки  $C_{0g} = 1/(K_p + 1)$ . Следовательно, статическую ошибку  $\delta_{cmg}$  можно уменьшить, повысив коэффициент усиления  $K_y$  операционного усилителя **DA1**.

Чтобы обеспечить **нулевую статическую ошибку** при отработке задания в виде  $g(t) = g_0 \mathbf{1}(t)$ , в канал ошибки следует включить звено, которое накапливало бы во время переходного процесса сигнал (информацию об интенсивности задающего воздействия) и сохраняло бы этот сигнал по окончании переходного процесса (рис. 2.2). Когда рассогласование становится равным нулю, этот сигнал используется для обеспечения заданного значения управляемой переменной.

Таким звеном может быть только интегрирующее звено. В схеме на рис. 2.1 интегрирующим является звено на операционном усилителе **DA2**, выходной сигнал которого определяется выражением

$$u_{DA2}(t) = \frac{1}{T_u} \int_0^t \varepsilon_g(\tau) d\tau, \quad (2.2)$$

где  $T_u = CR_8$  – постоянная времени этого звена (см. рис. 2.1).

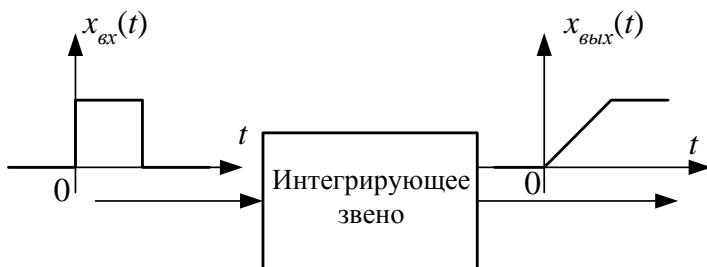


Рис. 2.2. Сигналы интегрирующего звена

**Классификационным** признаком статических систем является порядок астатизма  $v$ .

Системой с астатизмом первого порядка ( $v = 1$ ) по воздействию  $g(t)$  называется такая система, которая отрабатывает это воздействие с нулевой ошибкой, когда оно постоянное, и с постоянной ошибкой, когда оно изменяется линейно во времени, т.е. когда  $g(t) = g_0 + g_1 t$  при  $g_0, g_1 = const$ . В этом последнем случае ошибка называется скоростной, обозначается  $\delta_{ckg}$  и пропорциональна скорости изменения этого воздействия  $g_1 = \frac{dg(t)}{dt}$ , т.е.  $\delta_{ckg} = C_{1g} g_1 \neq 0$ .

Системой с астатизмом  $v$ -го порядка ( $v \geq 1$ ) по воздействию, например,  $g(t)$  называется система, ошибка которой равна нулю, если это воздействие изменяется по закону

$$g(t) = g_0 + g_1 t + \dots + g_{v-1} t^{v-1}, \quad (2.3)$$

и не равна нулю, если  $g(t) = g_0 + g_1 t + \dots + g_{v-1} t^{v-1} + g_v t^v$ . Здесь  $g_i, i = \overline{1, v}$  – также постоянные коэффициенты, причем  $g_{v-1} \neq 0$  и  $g_v \neq 0$ , а остальные коэффициенты  $g_i$  могут быть произвольными числами или нулями. При этом ненулевая ошибка также является постоянной.

Подчеркнём, что одна и та же система автоматического управления может быть астатической по задающему воздействию и статической по возмущающему воздействию.

Необходимым и достаточным признаком того, что система будет астатической порядка  $v$  по отношению к тому или иному воздействию, скажем,  $g(t)$ , является наличие  $v$  нулевых корней у полинома числителя **передаточной функции по ошибке** по этому воздействию, т.е.

$$W_{eg}(p) = \frac{p^v B(p)}{D(p)}, \quad (2.4)$$

где  $B(p)$  и  $D(p)$  – полиномы с отличными от нуля свободными коэффициентами.

Другим необходимым и достаточным признаком астатизма  $v$ -го порядка системы по некоторому воздействию является *тождественное равенство нулю первых  $v$  коэффициентов ошибки* [1] по данному воздействию.

**Структурным** признаком астатизма  $v$ -го порядка по **задающему** воздействию является **наличие в прямой цепи структурной схемы** системы (рис. 2.2,а) **в интегрирующих звеньях** с передаточной функцией

$$W(p) = \frac{1}{T_u p} = \frac{K_u}{p}. \quad (2.5)$$

**Структурным** признаком астатизма  $v$ -го порядка по **возмущающему** воздействию является **наличие в интегрирующих звеньях** с передаточной функцией (2.5) между точкой измерения **отклонения**  $\varepsilon$  и точкой приложения этого возмущения.

Известно также одно, более общее, правило определения порядка астатизма систем управления [1, 3]:

**Структурным признаком астатизма  $v$ -го порядка по некоторому воздействию является наличие в интегрирующих звеньях в обратной связи, если входом системы является данное воздействие, а выходом – сигнал отклонения  $\varepsilon = g - y$ .**

Чтобы воспользоваться последним из указанных признаков астатизма  $v$ -го порядка, необходимо структурную схему исследуемой САУ (например, показанную на рис. 2.3,а) представить так, как показано на рис. 2.3,б. Как видно, входом системы должно быть воздействие, а выходом – отклонение. (На рис. 2.3,б жирными линиями выделена цепь обратной связи).

Анализируя на основе этого признака представленные на рис. 2.3,б и 2.3,в структурные схемы, приходим к выводу: рассматриваемая система (рис. 2.3,а) будет астатической по отношению к задающему воздействию  $g(t)$  и по отношению к возмущению  $f(t)$ , если интегрирующие звенья будут присутствовать в передаточной функции  $W_1(p)$ .

Наличие интегрирующих звеньев только в передаточной функции  $W_2(p)$  обеспечит системе астатизм только по задающему воздействию.

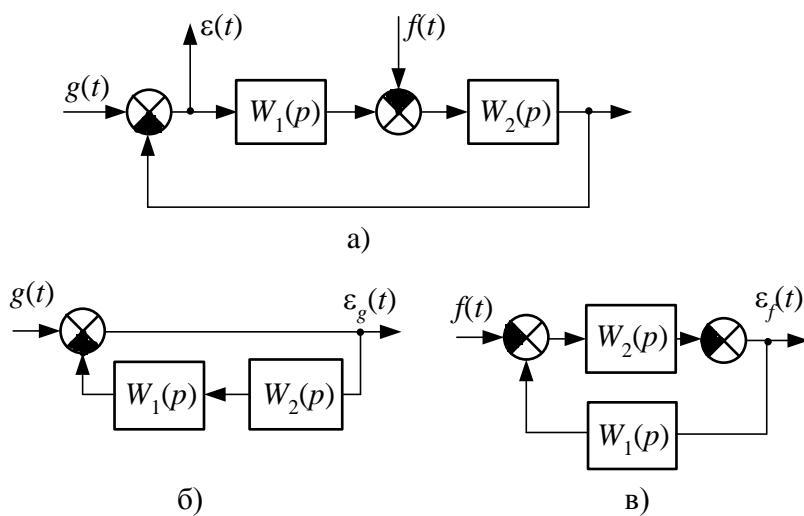


Рис. 2.3. Преобразование структурной схемы системы

Следует подчеркнуть, что чем выше порядок астатизма системы, тем, как правило, труднее сделать такую систему устойчивой, с малым перерегулированием и малым временем переходных процессов. Особенno это характерно для систем с управлением только

по отклонению, поэтому в большинстве случаев они имеют астатизм первого, второго порядка.

В тех же случаях, когда необходимо устранить ошибки, обусловленные производными более высоких порядков, необходимо применять системы управления с более высоким порядком астатизма, усложняя соответствующим образом структуру системы (например, повышая порядок регулятора и вводя управление как по отклонению, так и по выходу или по входу).

**3.2.3. Результаты и выводы:** в ходе работы были изучены конструкция и принцип работы датчиков.

### 3.3 Практическое занятие №3 ( 2 часа).

**Тема:** «Комплексы технических средств. Программно-технические комплексы»

#### 3.3.1 Задание для работы:

1. Изучить конструкцию исполнительных устройств

#### 3.3.2 Краткое описание проводимого занятия:

Структурная схема исследуемой в данной работе замкнутой статической системы (согласно рис. 2.1) может быть представлена в виде, приведённом на рис. 2.4. На ней операционный усилитель **DA1** и тиристорный усилитель мощности **ТУ** объединены и описаны одним пропорциональным звеном с коэффициентом усиления  $K_y$ ; входная цепь усилителя **DA1** представлена первым сумматором, а остальные блоки описывают двигатель. Отметим, что он описывается здесь более точно, чем в предыдущих работах, т.е. с учётом  $T_g$  – электромагнитной постоянной времени.  $T_m$  – электромеханическая постоянная времени двигателя, по-прежнему.

Главная особенность статической САУ заключается в том, что её ошибка при постоянном воздействии, как указывалось выше, будет ненулевой.

Покажем это, воспользовавшись принципом суперпозиции, справедливым для линейных систем. Для этого рассмотрим систему, изображенную на рис. 2.4, в двух режимах работы:

- а) момент сопротивления  $M_c$  отсутствует, а задающее воздействие  $g(t)$  представляется собой скачок некоторой амплитуды, т.е.  $M_c = 0$ , а  $g(t) = g_0 1(t)$ ;
- б) задающее воздействие  $g(t)$  отсутствует, а момент сопротивления представляет собой скачок некоторой амплитуды, т.е.  $g = 0$ , а  $M_c(t) = M_0 1(t - \tau_m)$ .

Заметим, попутно, что поскольку в системе используется двигатель с независимым возбуждением, то нагрузку к нему следует подключать после того, как он наберет обороты. Поэтому при экспериментальном исследовании случая б) момент сопротивления  $M_c$  необходимо задерживать на некоторую величину  $\tau_m$ .

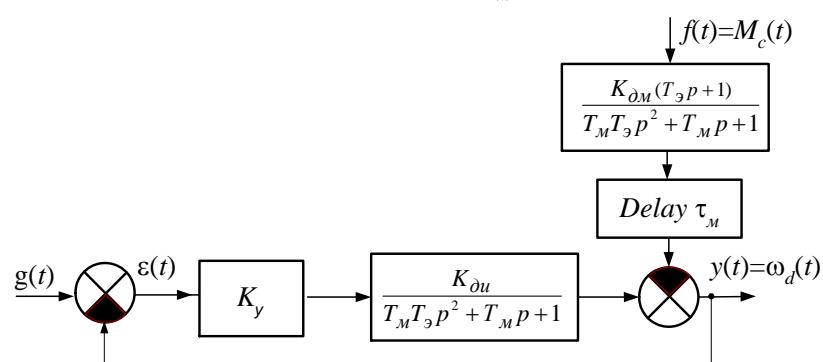


Рис. 2.4. Структурная схема статической системы

Итак, рассмотрим случай *a*). В соответствии с рис. 2.4 передаточная функция рассматриваемой системы в разомкнутом состоянии по каналу  $\varepsilon \rightarrow \omega_d$  равна

$$W_p(p) = \frac{K_y K_{\text{ou}}}{T_m T_s p^2 + T_m p + 1}. \quad (2.6)$$

Определим передаточную функцию этой системы по ошибке от задающего воздействия [1, 2]

$$W_{\varepsilon_g}(p) = \frac{1}{1 + W_p(p)} = \frac{T_m T_s p^2 + T_m p + 1}{T_m T_s p^2 + T_m p + K_y K_{\text{ou}} + 1}. \quad (2.7)$$

Статическую ошибку можно определить, воспользовавшись теоремой о предельном значении [1, 2]

$$\delta_{cm,g} = \lim_{p \rightarrow 0} p W_{\varepsilon_g}(p) g(p). \quad (2.8)$$

В нашем случае с учётом выражения (2.7) имеем

$$\delta_{cm,g} = \lim_{p \rightarrow 0} p \frac{T_m T_s p^2 + T_m p + 1}{T_m T_s p^2 + T_m p + K_y K_{\text{ou}} + 1} \cdot \frac{g_0}{p} = \frac{1}{1 + K_y K_{\text{ou}}} g_0. \quad (2.9)$$

Таким образом, статическая система отрабатывает ступенчатое задающее воздействие с постоянной ошибкой, величина которой прямо пропорциональна величине задающего и обратно пропорциональна коэффициенту усиления системы в разомкнутом состоянии  $K_y K_{\text{ou}} = K_p$  (при  $K_p \gg 1$ ).

Рассмотрим теперь случай *b*). Для удобства вывода  $W_{\varepsilon_M}(p)$  преобразуем представленную на рис. 2.4 схему к виду, показанному на рис. 2.5.

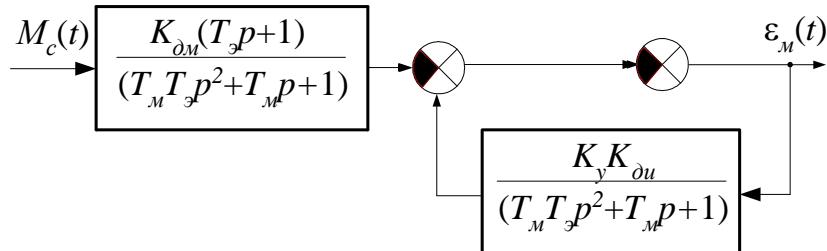


Рис. 2.5. Преобразованная структурная схема статической системы

В соответствии со схемой, приведённой на рис. 2.5, передаточная функция системы по ошибке, вызванной моментом сопротивления  $M_c(t)$ , определяется [1, 2] выражением

$$W_{\varepsilon_M}(p) = \frac{K_{\text{ou}}(T_s p + 1)}{T_m T_s p^2 + T_m p + K_{\text{ou}} K_y + 1}.$$

Воспользовавшись выражением (2.8) для данного случая при  $M_c(t) = M_{c0} 1(t - \tau_m)$ , получим

$$\delta_{cm,M} = \lim_{p \rightarrow 0} p \frac{K_{\text{ou}}(T_s p + 1)}{T_m T_s p^2 + T_m p + K_{\text{ou}} K_y + 1} \cdot \frac{M_{c0}}{p} = \frac{K_{\text{ou}}}{1 + K_y K_{\text{ou}}} M_{c0}. \quad (2.10)$$

Следовательно, в соответствии с принципом суперпозиции, суммарная ошибка статической системы (см. рис. 2.4), обусловленная задающим и возмущающим воздействиями, определяется выражением

$$\delta_{cm} = \delta_{cmg} + \delta_{cmu} = \frac{1}{1+K_y K_{du}} g_0 + \frac{K_{du}}{1+K_y K_{du}} M_0. \quad (2.11)$$

Из выражения (2.11) видно, что в статических системах автоматического управления ошибка  $\delta_{cm}$  всегда отлична от нуля. В рассматриваемой системе, согласно (2.11), эту ошибку можно сделать достаточно малой путем увеличения коэффициента  $K_y$ .

**3.3.3. Результаты и выводы:** в ходе работы была изучена конструкция исполнительных устройств