

**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 очная**

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>1. Конспект лекций.....</b>	<b>4</b>
<b>1.1 Лекция № 1 Введение .Типовые структуры и средства систем автоматизации и управления.....</b>	<b>4</b>
<b>1.2 Лекция № 2,3 Технические средства получения информации о состоянии объекта управления .....</b>	<b>6</b>
<b>1.3 Лекция № 4,5,6 Технические средства использования командной информации и воздействия на объект управления.....</b>	<b>8</b>
<b>1.4 Лекция №7,8,9 Технические средства приема, преобразования и передачи измерительной и командной информации на объект управления.....</b>	<b>17</b>
<b>1.5 Лекция №10 Технические средства обработки, хранения информации и выработки командных воздействий.....</b>	<b>22</b>
<b>1.6 Лекция №11 Программное обеспечение САиУ.....</b>	<b>26</b>
<b>1.7 Лекция №12,13 Устройства взаимодействия с оперативным персоналом САиУ.....</b>	<b>29</b>
<b>1.8 Лекция №14,15 Комплексы технических средств. Программно-технические комплексы .....</b>	<b>34</b>
<b>1.9 Лекция №16-17 Локальные управляющие вычислительные сети .....</b>	<b>37</b>
<b>2. Методические указания по выполнению лабораторных работ .....</b>	<b>46</b>
<b>2.1 Лабораторная работа № ЛР-1,2,3 Программное обеспечение САиУ.....</b>	<b>46</b>
<b>2.2 Лабораторная работа № ЛР-4,5,6,7 Устройства взаимодействия с оперативным персоналом САиУ.....</b>	<b>47</b>
<b>2.3 Лабораторная работа № ЛР-8,9,10,11 Комплексы технических средств. Программно-технические комплексы.....</b>	<b>48</b>
<b>2.4 Лабораторная работа № ЛР-12,13,14,15 Локальные управляющие вычислительные сети.....</b>	<b>49</b>
<b>3. Методические указания по проведению практических занятий.....</b>	<b>50</b>
<b>3.1 Практическое занятие № ПЗ-1,2,3,4 Введение. Типовые структуры и средства систем автоматизации и управления (САиУ) техническими объектами и технологическими процессами.....</b>	<b>50</b>
<b>3.2 Практическое занятие № ПЗ-5,6,7,8 Технические средства получения информации о состоянии объекта управления .....</b>	<b>56</b>

<b>3.3 Практическое занятие № ПЗ-9,10,11,12,13</b> Технические средства использования командной информации и воздействия на объект управления.....	58
<b>3.4 Практическое занятие № ПЗ-14,15,16,17.</b> Технические средства приема, преобразования и передачи измерительной и командной информации на объект управления.....	60

# 1. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

**1 Лекция № 1** Введение .Типовые структуры и средства систем автоматизации и управления ( **2 часа**).

**Тема:** «Типовые структуры и средства систем автоматизации и управления.»

## **1.1.1 Вопросы лекции:**

1. Типовые структуры и средства систем автоматизации и управления (САиУ) техническими объектами
2. Типовые структуры и средства систем автоматизации и управления технологическими процессами.

## **1.1.2 Краткое содержание вопросов:**

*1. Типовые структуры и средства систем автоматизации и управления (САиУ) техническими объектами*

Установки централизованного контроля и регулирования являются основным техническим средством централизованных систем контроля, регулирования и управления. Характерными задачами, выполняемыми этим классом систем, являются дистанционный контроль, регулирование и управление технологическим объектом управления, территориально отдаленным от центрального пульта оператора. На установки централизованного контроля и регулирования в таких системах возлагаются функции измерения технологических параметров, их регистрации (непрерывной или выборочной), сигнализации (звуковой, световой) отклонений параметров от заданных значений, регистрации отдельных событий (например, аварийных), выработки регулирующих двух- или трехпозиционных сигналов, управления блоками защиты, логико-командное управления.

С точки зрения построения структуры установки централизованного контроля и регулирования наибольшее распространение (при достаточно большом числе контролируемых параметров) нашла структура параллельно-последовательного типа, упрощенная схема которой изображена на рис. 1.1.

Контролируемые параметры  $x_1, \dots, x_n$  подключаются с помощью коммутатора последовательно к измерительному преобразователю и аналого-цифровому преобразователю. В устройстве сравнения унифицированный сигнал (в аналоговой или цифровой форме) сравнивается с уставками (нижними и верхними допустимыми значениями). Сигналы с выхода устройства сравнения поступают на различные устройства сигнализации и устройства формирования регулирующих воздействий, а также на регистрирующие устройства. Работой всей системы управляет устройство управления.

В более сложных современных установках контроля и регулирования центральным устройством является микроЭВМ, выполняющая разнообразные функции обработки информации и управления обменом данными между всеми устройствами в составе установки.

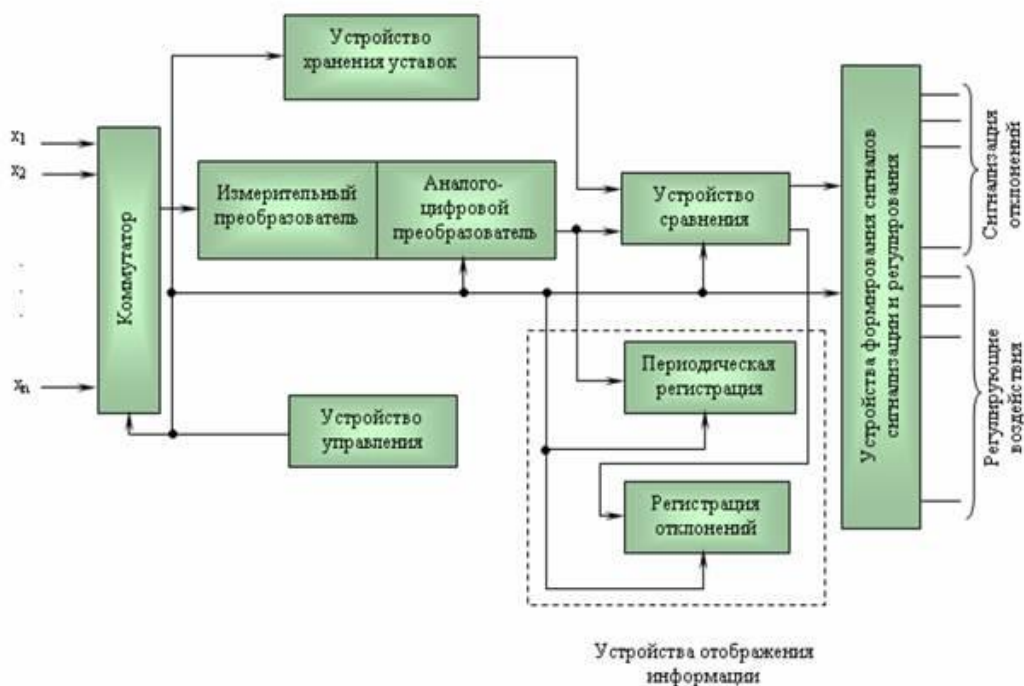


Рисунок 1.1. - Типовая структура установки централизованного контроля и регулирования

## 2. Типовые структуры и средства систем автоматизации и управления технологическими процессами.

Комплексная автоматизация современного производства предполагает реализацию систем управления технологическими процессами в виде иерархических многоуровневых распределенных систем управления, наилучшим образом соответствующих принципам организационно-технологического управления территориально рассредоточенным производством. Техническая реализация таких систем осуществляется на основе многомашинной вычислительной системы – локальной управляющей вычислительной сети (ЛУВС) с распределенной обработкой данных. При этом функции, а следовательно, состав, производительность и программное обеспечение информационно-управляющих вычислительных комплексов (ИУВК), объединяемых в ЛУВС, оказываются чрезвычайно разнообразными, что объясняется разнообразием объектов управления и решаемых задач.

Термин	Определение
Координирующий управляющий вычислительный комплекс УВК	Подсистема иерархического УВК, состоящая из одной (или более) вычислительной системы, устройства связи с оперативным персоналом и аппаратно-программных средств для автоматического обмена данными с вышестоящими подсистемами управления и координируемыми подсистемами нижестоящего уровня
МикроУВК	Подсистема иерархического УВК, состоящая из одной (или более) вычислительной системы на базе микроЭВМ, устройства связи с датчиками и исполнительными органами ТООУ или аппаратно-программных средств с нижестоящими подсистемами, а также средств автоматического обмена данными с вышестоящими подсистемами и подсистемами своего уровня управления и/или оперативным персоналом
Устройства связи с датчиками и	Устройства, включающие вторичные преобразователи сигналов, коммутаторы, схемы связи с каналами ввода-

исполнительными органами (УСДИО)	вывода центральной части микроУВК и другие устройства (уточненное определение устройства связи с объектом)
Устройства связи с оперативным персоналом (УСОП)	Устройства, обеспечивающие режим диалога или интерактивный режим работы частей УВК, требуют соответствующее программное и лингвистическое обеспечение
Устройства связи между ЭВМ (УСИ)	Устройства УВК, реализующие функции интерфейсов физического уровня ЛВС, адаптеров магистралей, контроллеров связи между ЭВМ различных классов и др.
Концентратор линий связи	Специализированное аппаратное или аппаратно-программное средство для уплотнения линий связи с ЛВС
Контроллер	Подсистема иерархического УВК, представляющая аппаратно и/или программно управляемый автомат, выполняющий функции управления локальным объектом и работающий по однозначно заданным алгоритмам без взаимодействия с оперативным персоналом
Микропроцессор широкого назначения	Программно- или микропрограммноуправляемый процессор, выполненный в виде одной (монолитный) или нескольких БИС
Специализированный микропроцессор	Устройство на одной или нескольких БИС, логическая схема которого спроектирована для строго определенного вида математической и логической обработки данных (например, интерполирование); к разновидности можно отнести так называемый процессор сигналов, предназначенный для цифровой обработки аналоговых сигналов - включает АЦП
МикроЭВМ широкого назначения	Конструктивно законченная ЭВМ на основе микропроцессорного набора БИС или одной БИС, имеющая архитектуру универсальной ЭВМ с программным управлением
Специализированная микроЭВМ	Конструктивно законченная ЭВМ на основе специализированного микропроцессора или микропроцессора широкого назначения, ориентированного на строго определенный вид обработки данных

**2 Лекция № 2,3** Технические средства получения информации о состоянии объекта управления **(4 часа)**.

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

#### **1.2.1 Вопросы лекции:**

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

#### **1.2.2 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 автоматизированного 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 персонифицированными 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.



**3 Лекция № 4,5,6** Технические средства использования командной информации и воздействия на объект управления (**6 часов**).

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

### **1.3.1 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.

### **1.3.2 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: термпара, 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.

**А. 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%.

**В. 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:

- а) датчики механических величин;
- б) датчики тепловых величин;
- в) 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:

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

а) 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.

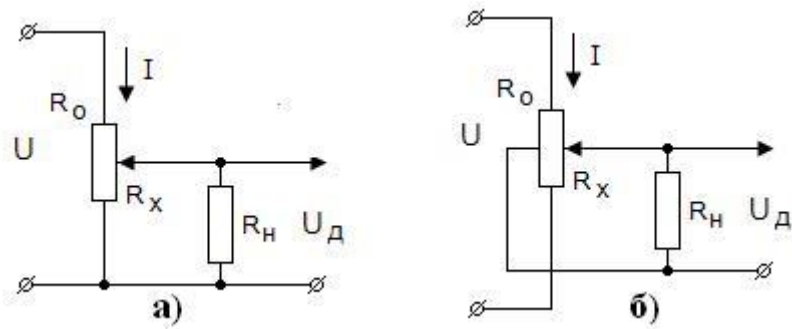


Рисунок 2 - Потенциометрические датчики: а) полярный, б) реверсивный.

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

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

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

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

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

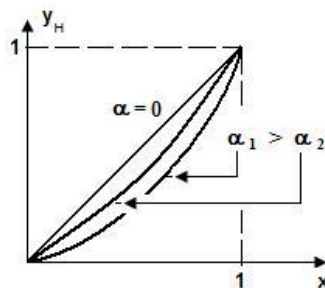


Рисунок 3 - Характеристика потенциометрического датчика.

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

Если  $R_n \gg R_0$  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  $X=L/2$ .

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

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

$$W_{\text{пост}} = K$$

$$W_{\text{перем}}(LR) = \frac{K}{Tp + 1}$$

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 движения, 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 константановой 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, безинерционность, стабильность.

Недостатки: малая чувствительность температурная погрешность.

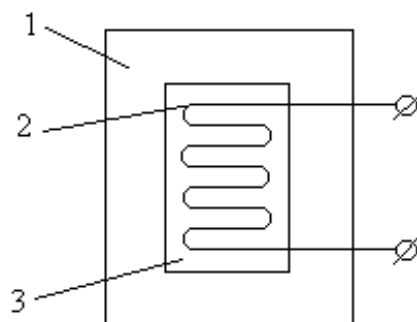


Рисунок 4 - Проволочный тензометрический датчик: 1- деталь, 2- бумага, 3- константановая проволока.

Полупроводниковые тензодатчики представляют собой пластины, различной формы, к которым присоединены металлические выводы и которые наклеены на поверхность детали. Они выполняются из тензолитных 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 термокомпенсации 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».

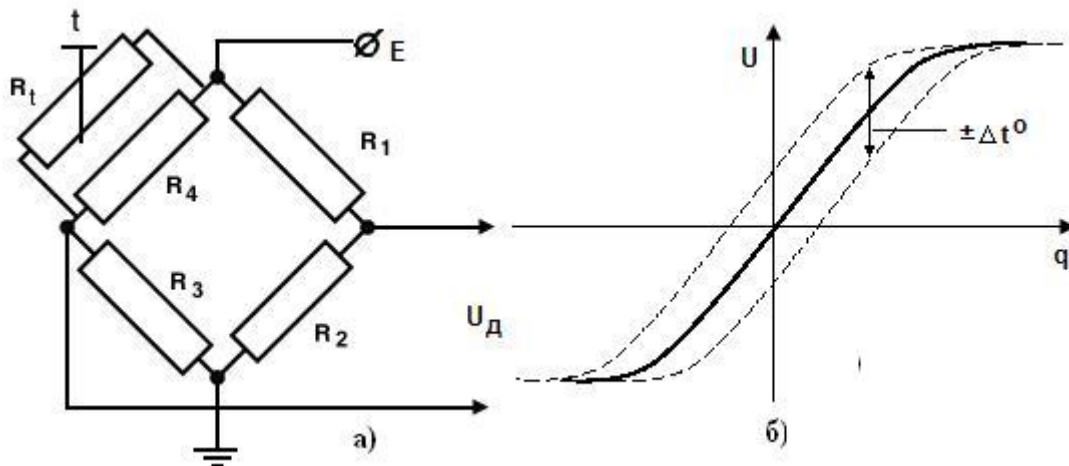


Рисунок 5 - Мостовой тензорезистивный датчик: а) – схема, б) – характеристика..

### 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  $+500^{\circ}\text{C}$ . Функция преобразования платинового терморезистора нелинейная и обычно аппроксимируется квадратичным трехчленом. Параметры:  $\alpha = 4 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ ,  $\beta = 6 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-2}$ .

Функция преобразования медного терморезистора линейна и  $\alpha = 4,3 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ . Медные терморезисторы применяют в диапазоне температур от  $-50$  до  $+150^{\circ}\text{C}$ . 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 $^{\circ}\text{C}(R_0)$	Градуир.	Диапазон измерения, $^{\circ}\text{C}$	Сопротивление при $^{\circ}\text{C}(R_0)$	Градуир.	Диапазон измерения, $^{\circ}\text{C}$
10 50 100	10П 50П 100П	От $-200$ до $+750$ От $-260$ до $+1000$ От $+260$ до $+1000$	10 50 100	10М 50М 100М	От $-50$ до $200$ От $-50$ до $200$ От $-200$ до $200$

Конструкция термометра сопротивления приведена на рис. 24.

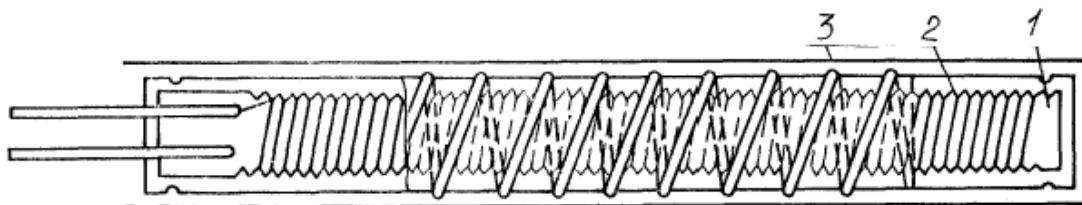


Рисунок 6 - Конструкция термометра сопротивления.

Термометр сопротивления имеет чувствительный элемент в виде тонкой проволоки 2 (диаметр  $0,05 \text{ мм}$ ), намотанный на каркас 1 (пластину 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>0</sub> уменьшается в 20-70 раз, в зависимости от величины его

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

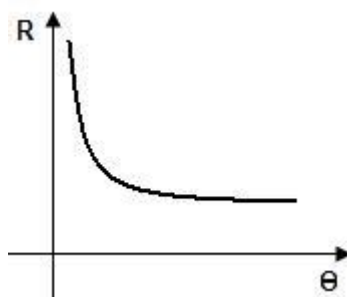


Рисунок 7 - Характеристика термистора.

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<sup>0</sup> 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.

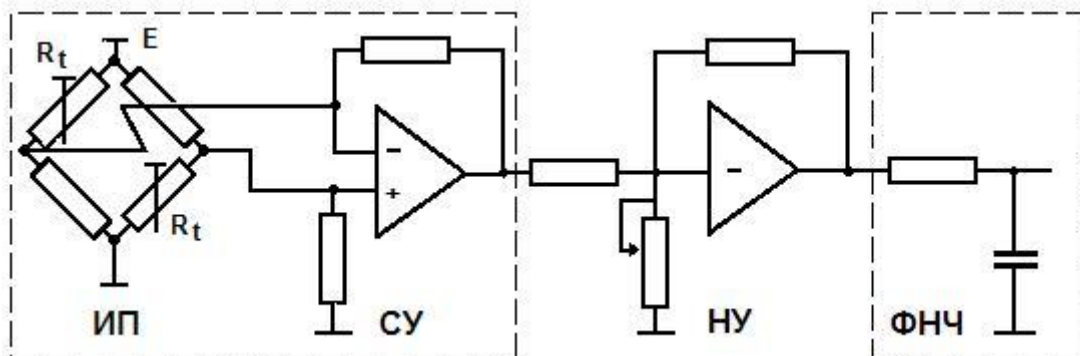


Рисунок 8 - Схема измерения на основе термистора.

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  $t_1$ :

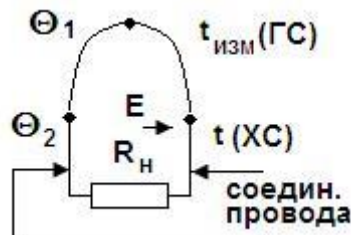


Рисунок 9 - Термопара.

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, S, К, N, N.

Таблица 4

Тип термопары	Материал термоэлектродов	Обозначение градуировки	Диапазон измерения при длительном измерении, $^\circ\text{C}$
ТХК	Хромель-копель	ХК (L)	-200...+600
ТХА	Хромель-алюмель	ХА (K)	-200...+1000
ТПП	Платинородий (10%) – платина	ПП (S)	0...+1300
ТВР	Вольфрамрений (5%) - вольфрамрений (20%)	ВР (A)	0...2200

Чувствительность термопар различна и лежит в диапазоне от 10 мкВ/ $^\circ\text{C}$  (ПП) до 70 мкВ/ $^\circ\text{C}$  (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  $\delta = 0,1..0,2\%$ .

Передачная 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.

**4 Лекция №7,8,9** 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».

#### 1.4.1 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.

#### 1.4.2 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 входят 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.

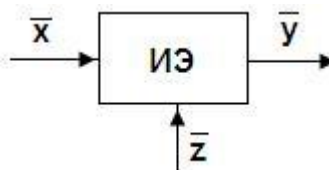


Рисунок 10 - Модель исполнительного элемента: X-входные параметры, Y- выходные, Z- возмущения.

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 передаточных 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 имеет 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 предназначены 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 вращающего 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 вращающий момент от 1 до 100 Н • м при числе рабочих оборотов от 0,25 до 30 с<sup>-1</sup> либо усилие от 100 до 5000 Н при ходе от 25 до 750 мм.

В приборах точной механики применяют исполнительные механизмы с меньшими вращающими 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.

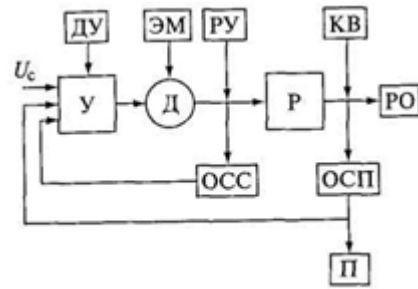
Конструктивно электродвигательные исполнительные механизмы выполняются, как правило, с вращательным движением выходного вала и реже с поступательным перемещением выходного штока. В системах общепромышленной автоматики для привода заслонок, кранов, шиберов и других устройств наиболее часто применяются 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, выполняемые 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 — контрольный 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.

## 5 Лекция №10 Технические средства обработки, хранения информации и выработки командных воздействий (2часа).

**Тема:** «Классификация режимов работы устройств»

### 1.5.1 Вопросы лекции:

1. Классификация режимов работы устройств
2. Классификация элементов по характеру функциональной зависимости между входной и выходной величинами.

### 1.5.2 Краткое содержание вопросов:

#### 1.Классификация режимов работы устройств

АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическим процессом, представляющая человеко-машинную систему, предназначенную для выработки и реализации управления технологическим объектом управления в соответствии с некоторым принятым критерием.

Технологический объект управления (ТОУ) – это совокупность технологического оборудования и реализованного на нем по регламенту процесса производства. В качестве технологического объекта управления могут рассматриваться: отдельные установки и агрегаты; группы станков, выполняющих набор последовательных операций и образующих единую технологическую линию; отдельные производственные структуры (участок, цех), выполняющие самостоятельные технологические процессы и некоторый процесс производства в целом.

В зависимости от решаемых задач АСУ ТП может иметь различную структуру; выделяют 3 класса АСУ ТП: локальные, централизованные и распределенные системы управления.

*Локальная* система управления используется для управления технологически независимым объектом с компактно расположенным оборудованием, и несложными задачами управления. Примеры локальных систем: системы стабилизации, следящие, программного управления. Основные элементы локальной системы: ТОЭ, датчики, исполнительное устройство и локальный регулятор. В системе обычно предусматриваются элементы ручного управления и связи с оператором. Рис.1

В зависимости от реализации регулятора локальные системы могут быть как аналоговыми так и цифровыми.

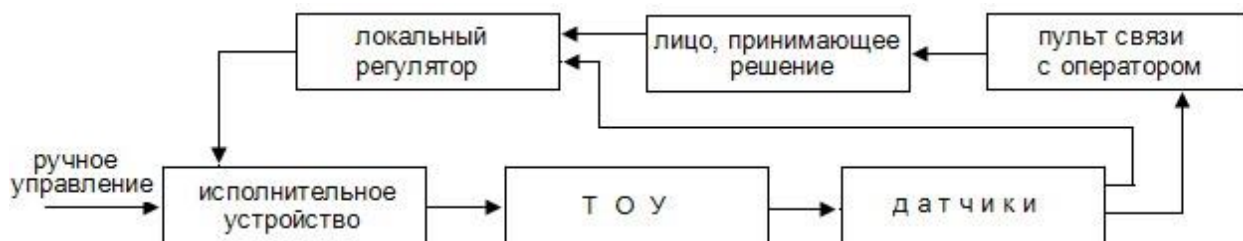


Рис.1 Типовая структура локальной системы управления.

*Централизованная* система управления используется для управления сосредоточенным объектом со сложными или разнообразными функциями управления или большим количеством сигналов «вход-выход». В системе есть два уровня: на нижнем уровне находятся объекты управления с датчиками и исполнительными устройствами на верхнем управляющая вычислительная машина (УВМ) и устройство сопряжения с объектом (УСО). УСО преобразует различные по виду сигналы от датчиков (входные сигналы), в цифровой код в формате, определяемом конкретной УВМ. Сформированные УВМ в виде цифрового кода сигналы управляющих воздействий для исполнительных устройств (выходные сигналы) УСО преобразует к одному из стандартных видов. Для контроля над процессом предусмотрен пульт связи с оператором. Все процессы обработки сигналов датчиков и формирования управляющих сигналов для всех контуров управления последовательно выполняет одна и та же УВМ. Она также обеспечивает интерфейс с оператором.

*Централизованная* система имеет два основных недостатка: малая надежность и низкое быстродействие. Система становится неработоспособной при отказе УВМ или УСО. При большом количестве датчиков и контуров управления существенно увеличивается время основного цикла управляющей программы УВМ. Для устранения этих недостатков применяют следующие решения.

1. Для повышения надежности осуществляется: а) Дублирование основных элементов системы управления: УВМ и УСО; б) Применение супервизорной структуры.
2. Для повышения быстродействия передают часть функций управления на более низкий уровень: а) Применение супервизорной структуры. б) Переход к распределенной многоуровневой системе управления. Рис.2.

В *супервизорной* структуре с верхнего уровня на нижний передаются в цифровом виде значения уставок для регулятора и команды для локального контроллера, а с нижнего уровня на верхний параметры объекта, также в цифровом виде. Непосредственное управление в контуре выполняет локальный контроллер.

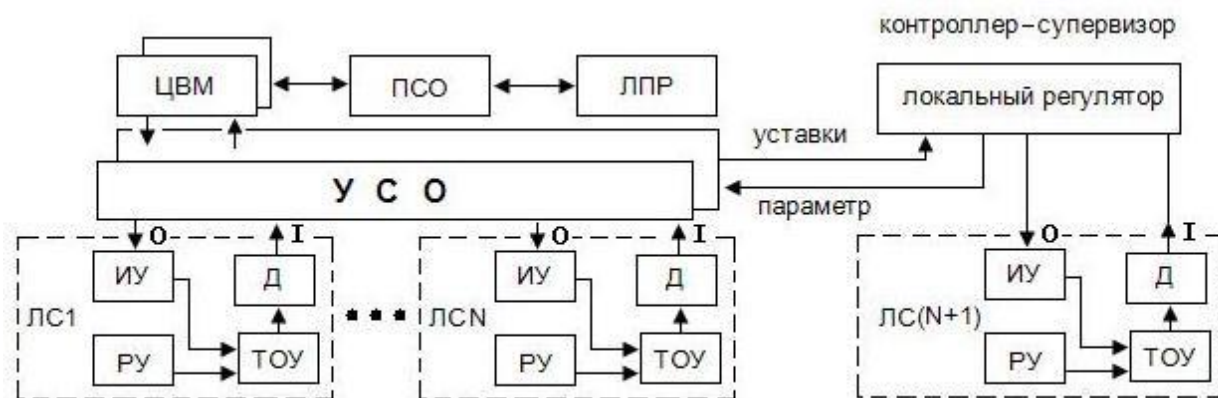


Рис.2 Типовая структура централизованной системы управления.

## 2. Классификация элементов по характеру функциональной зависимости между входной и выходной величинами.

Распределенная система управления (PCY) содержит несколько уровней. Модель ACYП предполагает, что CAУ различного уровня интегрированы в единую систему, охватывающую весь процесс жизнедеятельности предприятия. Модель имеет форму пирамиды. Опишем ее, начиная с основания. Иерархическая структура и типовая схема многоуровневой PCY приведена ниже на рис 3 и 4.

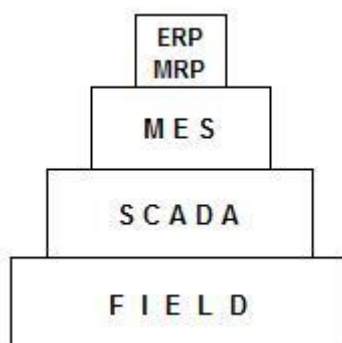


Рис. 3. Иерархическая структура распределенной системы управления.

а) Самый нижний уровень (Field, полевой) включает ТОУ, управляемый узлом на базе PLC или PromPC и непосредственно связанные с ним элементы: датчики и исполнительные устройства. На этом уровне обмен информацией производится по AS – интерфейсу. Название AS происходит от слов датчик (Sensor) и исполнительное устройство (Activator).

б) Следующий уровень (PLC, ПЛК) объединяет устройства локального управления и интерфейсы между ними. Этими устройствами являются локальные регуляторы и программируемые логические контроллеры (ПЛК).

с) На следующем уровне (участка (cell)) расположена (SCADA) – система диспетчерского управления и сбора данных.



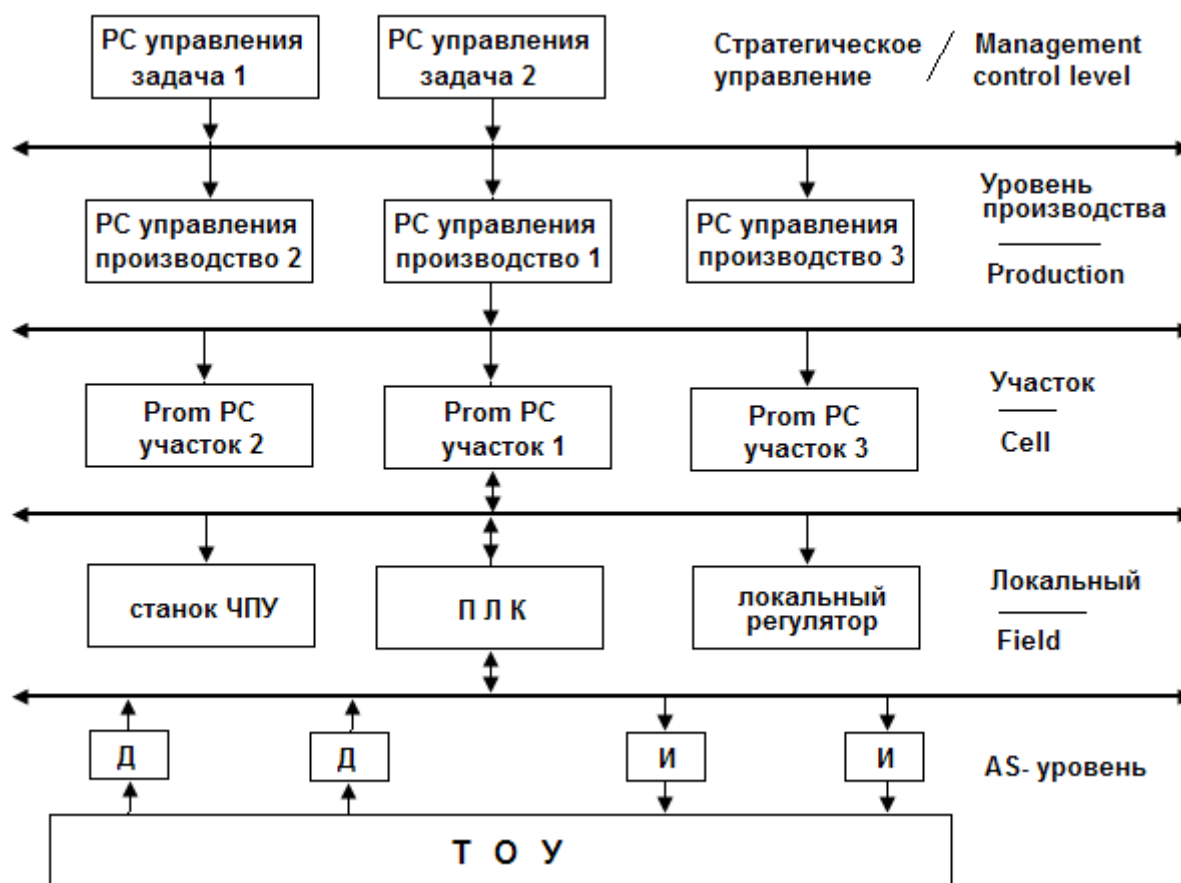


Рис.4 Типовая структура распределенной системы управления.

SCADA системы могут быть 3 видов.

1) *DCS* – распределенная система управления, обеспечивающая управление в масштабе установки или небольшого цеха. (Siemens, ABB).

Основной элемент такой системы – это функциональный узел на основе PLC или PromPC. Узлы объединены в разнородную сеть по различным интерфейсам (основной протокол – каждый с каждым). Рис.5.

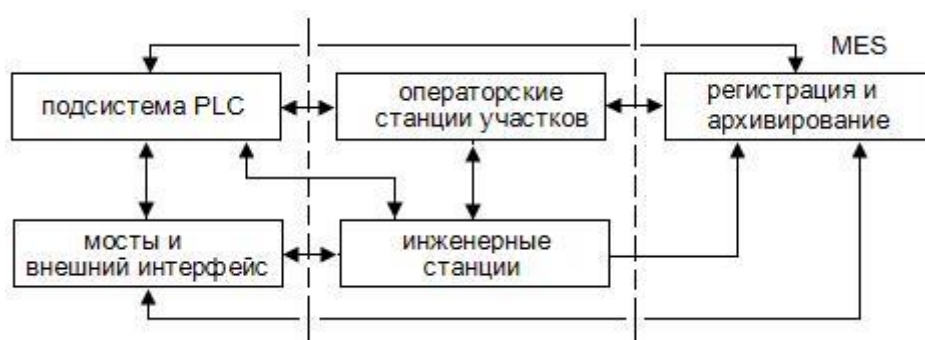


Рис.5 Структура SCADA системы типа DCS.

Каждый узел выполняет некоторый набор задач из следующего списка:

- сбор и первичная обработка данных участка;
- управление частью ИУ участка;
- связь с другими узлами/системами
- пользовательский интерфейс и отображение данных участка;

2. *Классическая SCADA*: ее особенности:

- а) однородная промышленная сеть;
- б) клиент-серверная архитектура;
- в) более четкая специализация узлов;
- г) более развитой человеко-машинный интерфейс (HMI);
- д) фильтрация и архивация текущих данных.

Дополнительно SCADA при соответствующем установленном программном обеспечении (ПО) может решать задачи прогноза и/или оптимизации.



Рис.6 Структура SCADA системы с выделенным сервером.

3. *BatchControl*. Распределенная система управления, выполненная в соответствии с требованиями стандарта 968.01 ISA.

Ее особенность это использование последовательного пакетного управления, ориентированного на регулирование системы, состоящей из ряда последовательных связанных участков с обеспечением качества и оптимизацией выхода конечного продукта.

Предполагается особая модель объекта управления, используемая в таких областях, как: нефтехимия, фармацевтика, пищевая, строительная промышленность.

д) Уровень организации производства, цеха (productionmanagement). На этом уровне функционирует исполнительная система производства **MES**. Это промежуточный слой, который служит для организации технологической подготовки производства. На этом и последующих уровнях расположены, объединенные в сеть промышленные РС и АРМы специалистов. На этом уровне решаются задачи:

- 1) планирование и контроль последовательных операций любых ТП.
- 2) управление производственными (станки) и людскими (персонал) ресурсами в рамках нескольких ТП;
- 3) распределение работ по заказам;
- 4) техническое обслуживание оборудования;
- 5) управление качеством.

е) *АСУ Предприятием* – это уровень стратегического планирования.

На этом уровне решаются различные классы задач для этого существуют отдельные подсистемы. Вот основные типы подсистем и задач на этом уровне:

1. **MRP** – планирование ресурсов на уровне цеха. В основе MRP лежит BOM (Bill of Material). В MRP II добавляется управление складскими запасами и производственными мощностями, в EAM добавляется управление основными фондами.

2. **ERPI** – планирование ресурсов предприятия в целом на основе бизнес-планов. Задачи:

- а) управление снабжением и сбытом;
- б) выпуск всех видов продукции и распределение заказов;
- в) контроль за материальным и финансовым потоками.

3. **ERP II** добавляются взаимоотношения с поставщиками, дилерами, реклама и PR.

4. **IRP** – интеллектуальное планирование ресурсов на основе создания динамической модели предприятия.

**Зачем это надо. Стандарты ISO-9000.**

Одно из основных условий выхода продукции предприятия на международный рынок – его сертификация по стандартам ISO-9000. Во всемирной торговой организации (ВТО) обязательным требованием является, что или поставщик имеет сертификат ISO-9000, или продажа идет через посредника с ISO-9000. Важнейшие требования, входящие в ISO-9000: идентифицируемость продукта, наблюдаемость и управляемость ТП и материальных потоков. Сертифицированные интегрированные системы АСУ ТП, объединяющие MRP+MES+SCADA эти требования обеспечивают.

Кроме этих уровней АСУ ТП, и программно-аппаратных комплексов, их обеспечивающих, интегрированная система должна сопрягаться еще и с системами САПР: (CAD/CAM/CAE/PDM), системами описания бизнес-процессов, системами программирования PLC и многими другими.

В наше время даже крупнейшие интегрированные системы R3, BAAN Oracle Application не решают всего комплекса задач.

## 6 Лекция №11 Программное обеспечение САиУ ( 2часа).

**Тема:** «Технические средства приема измерительной и командной информации

### 1.6.1 Вопросы лекции:

1. Устройства приёма связи с объектом управления
2. Системы приёма данных.

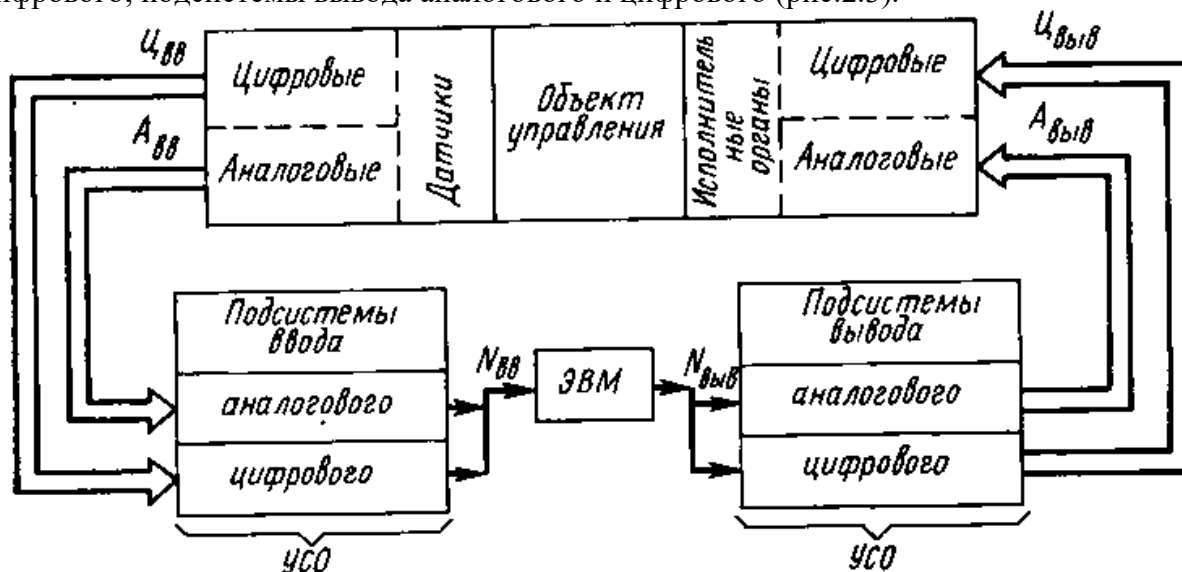
### 1.6.2 Краткое содержание вопросов:

#### 1. Устройства приёма связи с объектом управления.

Устройства, обеспечивающие возможность подключения объекта к ЭВМ и ЭВМ к объекту управления, принято выделять в специальный класс периферийных устройств — устройств связи с объектом (УСО). Для управляющих ЭВМ и комплексов наличие УСО в составе периферийного оборудования является обязательным, ибо только с его помощью можно обеспечить непосредственную физическую одно- или двустороннюю связь с объектом, а следовательно, и решение задач управления.

Рассмотрим подробно структуру УСО и входящие в него элементы (блоки).

В общем случае УСО содержит в своем составе подсистемы ввода аналогового и цифрового; подсистемы вывода аналогового и цифрового (рис.2.3).



**Рис. 2.3. Структура УСО управляющих машин**

Подсистемы аналогового ввода. Подсистема аналогового ввода осуществляет преобразование аналоговых физических величин в форму, приемлемую для

использования в ЭВМ. С помощью соответствующих датчиков аналоговые величины различной физической природы преобразуются в большинстве случаев в постоянный ток или напряжение, используемые в подсистеме аналогового ввода. Диапазон сигналов датчиков постоянного тока может колебаться от 0 до  $\pm 10$  мВ и от 0 до  $\pm 10$  В. Сигналы менее 100 мВ считаются низкоуровневыми, а более 100 мВ — среднеуровневыми. Такая граница выбрана потому, что подавляющая часть датчиков имеет выходные сигналы либо в милливольтовом диапазоне, либо в диапазоне 1 — 10 В. Кроме того, меры предосторожности, используемые при конструировании схем для сигналов милливольтового уровня, отличаются от соответствующих мер для схем с сигналами среднего уровня.

## *2. Системы приёма данных.*

Основными функциями оборудования, используемого в различных подсистемах аналогового ввода, являются:

1. Нормализация и усиление сигнала, фильтрация, ослабление, смещение уровня, преобразование тока в напряжение, усиление и и др. В подсистемах аналогового ввода применяются усилители трех типов:

— усилитель низкого уровня. Большинство АЦП работает в диапазоне 5 или 10 В, а сигналы датчиков являются сигналами низкого уровня. Для устранения этого несоответствия используют усилители сигналов низкого уровня с коэффициентом усиления по напряжению 5—1000, позволяющие эффективно использовать разрешающую способность аналого-цифровых преобразователей АЦП;

— высокоуровневый буферный усилитель, имеющий высокое входное, низкое выходное сопротивления и единичный коэффициент усиления. Буферный усилитель используется для согласования датчиков с высоким выходным сопротивлением с АЦП, имеющими низкое входное сопротивление;

— усилитель слежения — запоминания, представляющий собой аналоговое запоминающее устройство. Его выход пропорционален входу до тех пор, пока не последует команда запоминания, после чего выходной сигнал остается постоянным до окончания действия команды. При использовании нескольких усилителей слежения — запоминания можно одновременно зафиксировать значения сигналов на нескольких входах, подавая команды запоминания одновременно на все усилители группы.

2. Коммутация сигналов с помощью электронного или электромеханического переключателя. Коммутаторы классифицируют по уровням сигналов, быстродействию и числу проводов в канале (дифференциальные или однопроводные).

3. Аналого-цифровое преобразование. Скорость работы соответствующих преобразователей изменяется от единиц до десятков тысяч преобразователей в секунду, а их входная шкала обычно составляет 5 или 10 В.

Комбинации описанных функций позволяют получать подсистемы аналогового ввода различного назначения, критериями классификации которых служат обычно скорость опроса и уровень входных сигналов (табл. 2.1). Естественно, что скорость опроса подсистемы аналогового ввода меньше скорости работы используемого в ней АЦП, поскольку необходимо учитывать время установления напряжений (токов) усилителя и коммутатора.

Таблица 2.1

Подсистемы	Быстродействие, опер/с		
	низкое	среднее	высокое
Низкоуровневые	$0,02 \cdot 10^4$	$(0,02—1) \cdot 10^4$	$10^4$
Высокоуровневые	$0,5 \cdot 10^4$	$0,5 \cdot 10^4— 5 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^4$

В высокоуровневых подсистемах эффекты, вызванные термоэлектрическими потенциалами и контактными сопротивлениями, сказываются незначительно. Используемый в высокоуровневых подсистемах тип АЦП зависит главным образом от требований, предъявляемых к быстродействию и разрешающей способности (точности) подсистемы.

В низкоуровневых подсистемах должны быть дополнительно учтены термоэлектрические потенциалы, контактные сопротивления и т. п., т. е. все то, что специфично для низкоуровневых сигналов. Нормализация сигналов может включать все названные функции. Используемые после нормализации дифференциальные усилители обеспечивают получение на выходе однополярного сигнала 5—10 В. Коэффициенты усиления этих усилителей могут устанавливаться оператором вручную или программно.

Подсистемы среднего и низкого быстродействия наиболее распространены среди подсистем аналогового ввода для сигналов низкого уровня. Основное различие между подсистемами низкого и среднего быстродействия заключается не в конфигурации, а в использовании устройств коммутации каналов и в характеристиках усилителей сигналов среднего уровня, который работает в режиме разделения времени. Данная схема идентична предыдущей в отношении кросса и схем нормализации, но так как коммутатор должен осуществлять переключение сигналов низкого уровня без заметной ошибки, он обычно выполняется как дифференциальный коммутатор на электромеханических реле или полевых транзисторах.

Подсистема аналогового вывода. Можно выделить три широко распространенные конфигурации подсистемы аналогового вывода:

- — с цифро-аналоговым преобразователем (ЦАП) в каждом выходном канале;
- — с одним ЦАП, работающим в режиме разделения времени, и с выходным запоминающим усилителем в каждом выходном канале;
- — комбинированную.

Первая конфигурация содержит несколько ЦАП и устройство управления, обеспечивающее связь подсистемы с процессором. Управляющее устройство выполняет также ввод данных в каждый ЦАП. Под управлением программы выбирается некоторый ЦАП и данные вводятся в его регистр. Выходной сигнал ЦАП сохраняется при этом до тех пор, пока программа не введет новые цифровые данные. Эта конфигурация обычно используется там, где требуются высокие быстродействия и точность. Однако, если число выходных каналов велико, такая конфигурация может оказаться слишком дорогой из-за относительно высокой стоимости ЦАП.

Вторая конфигурация подсистемы используется для устранения указанного недостатка. При этом вместо нескольких параллельно-работающих ЦАП применяется только один ЦАП, работающий в режиме разделения времени. Подсистема аналогового вывода с разделением времени в этом случае содержит управляющее устройство, один ЦАП и ряд выходных схем аналоговой памяти. При временном разделении выходное напряжение ЦАП последовательно подается на ряд схем аналоговой памяти. Когда на управляющее устройство поступают данные от процессора, выход ЦАП подключается к

соответствующей схеме аналоговой памяти, выходная величина которой остается постоянной до тех пор, пока не произойдет обновление данных. Поскольку сигнал, хранимый в аналоговом ЗУ, несколько уменьшается со временем, может потребоваться периодическое обновление хранимого сигнала, даже если новое значение еще не вычислено.

## 7 Лекция №12,13 Устройства взаимодействия с оперативным персоналом САиУ (4 часа).

**Тема:** «Технические средства преобразования измерительной и командной информации».

### 1.7.1 Вопросы лекции:

1. Устройства преобразования связи с объектом управления.
2. Системы преобразования данных.

### 1.7.2 Краткое содержание вопросов:

#### 1. Устройства преобразования связи с объектом управления.

Связь управляющей ЭВМ с объектом управления (ОУ) может строиться по синхронному, асинхронному и комбинированному принципам [1, 2]. При *синхронном* принципе связи процесс управления разбивается на циклы равной длительности, определяемые тактовыми импульсами таймера. В каждом цикле происходит опрос **датчиков** управляемых величин, преобразование их сигналов в цифровую форму, запоминание и обработка полученной информации в ЭВМ и выдача новых значений управляющих воздействий на исполнительные органы ОУ. После этого ЭВМ прерывает вычисления до начала следующего цикла. Все операции должны заканчиваться в одном цикле за интервал времени, в течение которого параметры ОУ изменяются незначительно. *Асинхронный* принцип связи управляющей ЭВМ с ОУ используется для прерывания обработки одних сигналов перед другими сигналами, имеющими более высокий приоритет (например, для отработки аварийных режимов). При *комбинированном* принципе связи используются синхронный и асинхронный принципы для разных ситуаций в ОУ.

В любых системах связь управляющих ЭВМ с ОУ осуществляется с использованием входных аналого-цифровых преобразователей (АЦП) и выходных цифроаналоговых преобразователей (ЦАП) [1, 2, 8, 19]. Интегральная технология изготовления АЦП и ЦАП обеспечивает их высокую надежность, быстродействие, малые габариты и низкую стоимость. Устройства связи в виде АЦП и ЦАП не нужны только в случаях сопряжения ЭВМ с цифровыми **датчиками** информации и исполнительными устройствами с цифровым управлением при одинаковом с ЭВМ кодировании сигналов.

*Цифроаналоговые преобразователи* (ЦАП) преобразуют цифровые выходные сигналы ЭВМ в двоичном коде в аналоговые сигналы напряжения постоянного тока определенной величины и полярности, воздействующие на усилители и исполнительные органы ОУ. Принцип действия ЦАП основан на суммировании эталонных значений напряжения постоянного тока, пропорциональных весам разрядов входного двоичного кода сигналов от ЭВМ

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{Э}} \sum_{i=1}^n b_i \cdot 2^{-i} = U_{\text{Э}} (b_1 \cdot 2^{-1} + b_2 \cdot 2^{-2} + \dots + b_n \cdot 2^{-n}), \quad (8.2.1)$$

где  $U_{\text{Э}}$  — эталонное напряжение;  $b_1, b_2, \dots, b_n$  — коэффициенты двоичных разрядов, принимающих значения 0 или 1.

К основным параметрам ЦАП относятся:

- *разрешающая способность* — величина, обратная числу уровней аналогового сигнала  $q=1/2^n$ , где  $n$  — число разрядов преобразуемого двоичного кода;

· *точность* — наибольшее отклонение аналогового сигнала от входного цифрового значения, равное цене младшего разряда  $\Delta A0$ ;

· *нелинейность* — максимальное отклонение линейно увеличивающегося выходного напряжения от прямой линии между нулевым и максимальным его значениями;

· *время преобразования* — время между подачей цифрового кода и достижением выходным аналоговым сигналом значения, отличающегося на величину допустимой погрешности преобразования.

В зависимости от того, преобразуется цифровой код непосредственно в аналоговую величину или вначале преобразуется в промежуточный сигнал с последующим преобразованием в выходную аналоговую величину, различают ЦАП с прямым и промежуточным преобразованием. ЦАП с прямым преобразованием делятся на параллельные и последовательные.

В *параллельных ЦАП* все разряды двоичного кода одновременно подаются на схему суммирования. Параллельные ЦАП состоят из резистивной матрицы, набора токовых ключей, выходного операционного усилителя и источника опорного (эталонного) стабилизированного напряжения (рис. 8.2.1). Резистивная матрица выполняется по схеме с эталонными (весовыми, разрядными) резисторами или по схеме с резистивной сеткой  $R$ - $2R$ .

В ЦАП с эталонными резисторами (рис. 8.2.1, а) входной двоичный код  $N$  поступает на триггеры  $T$  регистра, который управляет состоянием ключей  $S$ , подключающих эталонные (весовые) резисторы  $R_i$  к источнику эталонного напряжения  $U_{\text{Э}}$  при  $b_i=1$  или к нулевой шине при  $b_i=0$ . Величины сопротивлений эталонных резисторов подбираются по двоичному закону  $R_i=R \times 2^{i-1}$ , при этом разряд с индексом  $i=n$  является младшим, а разряд с индексом  $i=1$  — старшим. Входной ток операционного усилителя  $OU$  определяется суммой:

$$I_{BX} = \sum_{i=1}^n \frac{U_{\text{Э}}}{R} b_i = \frac{2U_{\text{Э}}}{R} \sum_{i=1}^n b_i \cdot 2^{-i} = \frac{2U_{\text{Э}}}{R} N. \quad (8.2.2)$$

2.1.74  
2.1.75

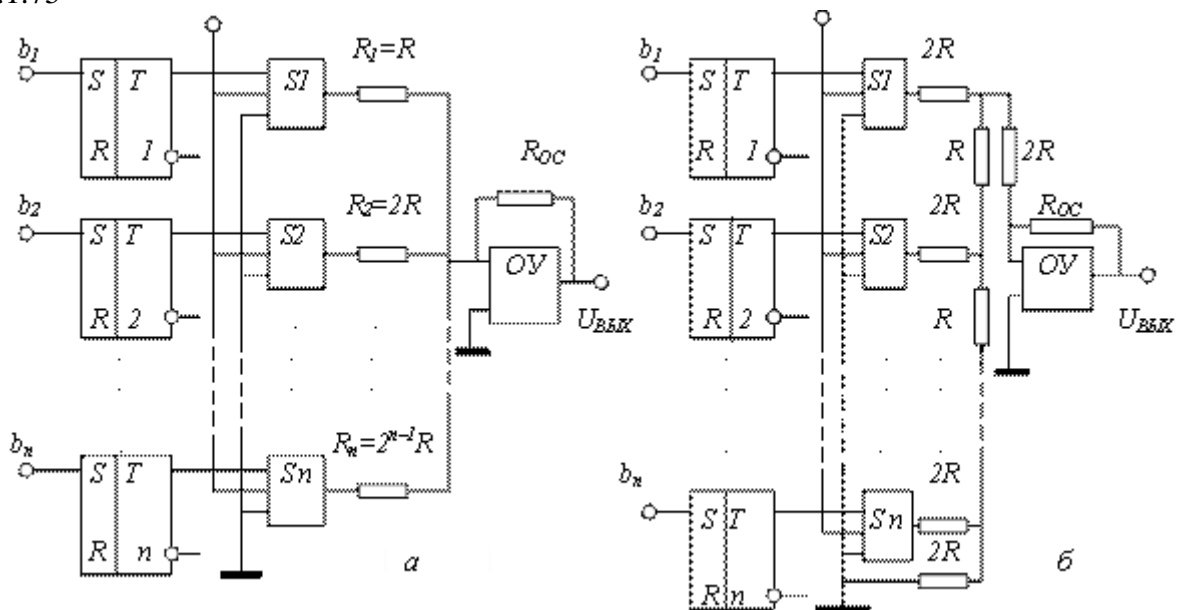


Рис. 8.2.1 — ЦАП параллельного кода

АЦП последовательного счёта подразделяются по способу слежения за входной аналоговой величиной на циклические и накопительные. В циклических АЦП входная величина измеряется полностью в каждом цикле преобразований. В накопительных АЦП



измеряется только изменение входной величины относительно его значения в предыдущем цикле преобразования.

Циклические АЦП последовательного счета выполняются с промежуточным преобразованием входной величины во временной интервал, частоту, фазу и без промежуточного преобразования. Преобразование интервалов времени в код заключается в подсчете числа импульсов генератора *ГИ* за интервал времени (рис 8.2.2). Импульс начала измеряемого интервала времени *ИН* поступает на триггер *T*, который через схему совпадений *И* открывает поступление импульсов от генератора *ГИ* на двоичный счетчик *СТ2*. Импульс конца временного интервала *ИК* устанавливает триггер *T* в исходное состояние. Записанный в счетчике *n*-разрядный код, соответствующий измеренному интервалу времени, передается в ЭВМ по сигналу импульса считывания информации *ИС* через набор из *n* элементов совпадения. Погрешность преобразования зависит от величины и стабильности частоты следования импульсов *ГИ*, количества разрядов счетчика, а также от случайной величины погрешности дискретности измерений  $\Delta t_1$  и  $\Delta t_2$ .

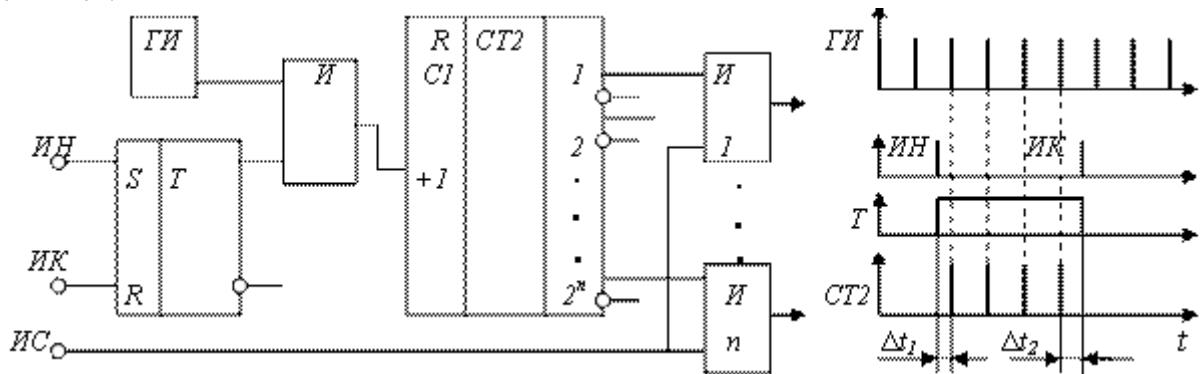


Рис. 8.2.2 — АЦП интервалов времени в код

Другой разновидностью АЦП последовательного счета являются АЦП с использованием ЦАП в цепи обратной связи, применяемые для преобразования аналоговых сигналов напряжения и тока в цифровой код. Один из вариантов АЦП последовательного счета с ЦАП в цепи обратной связи (рис. 8.2.3, а) содержит элемент сравнения *СС* (компаратор), генератор тактовых импульсов *ГИ*, счетчик тактовых импульсов *СТ* и цифроаналоговый преобразователь *ЦАП*. В начале каждого цикла преобразования в АЦП устройство подготовки (на схеме не показано) обнуляет выходной код счетчика *СТ* и компаратор *СС*, сравнивая преобразуемое входное аналоговое напряжение *UBX* с выходным напряжением *УЦАП*, разрешает счетчику *СТ* при  $UBX > U_{ЦАП}$  вести подсчет тактовых импульсов, поступающих от *ГИ*. В результате растет код на выходе *СТ* и на входе *ЦАП* и увеличивается напряжение *УЦАП* на выходе *ЦАП* и входе компаратора *СС*. При достижении равенства  $UBX = U_{ЦАП}$  компаратор запрещает счетчику *СТ* продолжение подсчета импульсов и полученный на выходе *СТ* код сохраняется до следующего цикла преобразования. Начало очередных циклов преобразований может инициироваться в функции времени или в функции нарушения равенства  $UBX = U_{ЦАП}$  на входе компаратора *СС*.

АЦП данного типа следят за изменениями величины преобразуемого аналогового напряжения *UBX* в выходной двоичный код *N* и поэтому называются следящими АЦП. Время преобразования зависит от числа разрядов счетчика и от величины преобразуемого аналогового напряжения и возрастает с их увеличением. Точность преобразования увеличивается с возрастанием числа разрядов счетчика и уменьшением величины ступеней *ЦАП*, а также с повышением точности компаратора при определении равенства  $UBX = U_{ЦАП}$ .

Метод поразрядного кодирования (поразрядного взвешивания) повышает быстродействие АЦП по сравнению с методом последовательного счета. В варианте АЦП



поразрядного кодирования (рис. 8.2.3, б) реализуется принцип последовательных приближений. Двоичный код входной преобразуемой аналоговой величины  $UBX$  формируется схемой управления в  $n$ -разрядном регистре на триггерах  $T_n, T_{n-1}, T_{n-2}, \dots, T_1$  в виде двоичных сигналов 1 или 0 на выходных шинах регистра, начиная со старшего разряда с весом  $2^{n-1}$  до младшего разряда с весом  $2^0$ . Этот код образует на выходе ЦАП суммарное напряжение  $U_{ЦАП}$ , которое сравнивается с входной преобразуемой аналоговой величиной  $UBX$  в компараторе  $CC$ , а результат сравнения поступает в схему управления.

## 2. Системы преобразования данных.

Схема управления по команде Пуск переводит в начале первого такта работы триггер  $T_n$  старшего разряда из начального состояния 0 в состояние 1 и на выходе ЦАП создается напряжение  $U_{ЦАП}$ , соответствующее выходному коду старшего разряда  $N_{2n-1}=2^{n-1}$ . Если в течение первого такта работы сохранится условие  $UBX > U_{ЦАП}$ , то выход компаратора  $CC$  будет иметь состояние 0 и схема управления сохранит триггер  $T_n$  в состоянии 1 и код  $N_{2n-1}=2^{n-1}$  на выходе АЦП. Если при включении старшего разряда получится  $UBX < U_{ЦАП}$ , то выход компаратора  $CC$  примет состояние 1 и схема управления возвратит триггер  $T_n$  в исходное состояние 0. В следующем такте система управления переводит из начального состояния 0 в состояние 1 триггер  $T_{n-1}$  следующего более низкого разряда с весом  $2^{n-2}$  и цикл процессов преобразования повторяется до установления двоичного сигнала 1 или 0 на всех шинах более низких разрядов выходного кода вплоть до младшего разряда с весом  $2^0=1$ . Затем циклы преобразований повторяются.

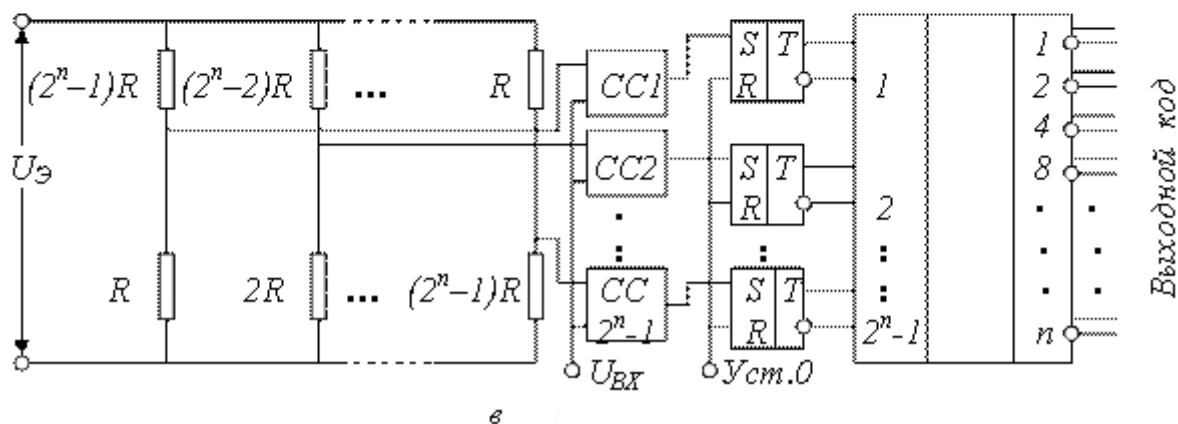
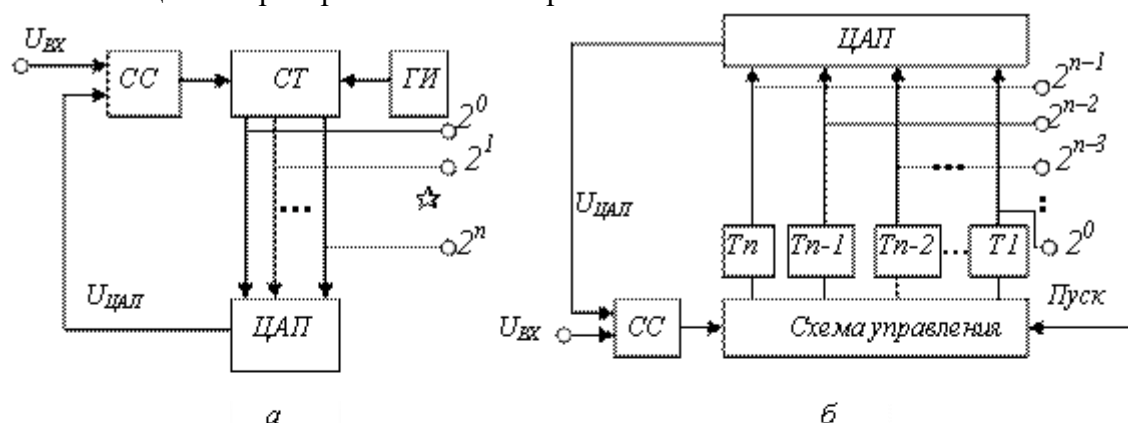


Рис. 8.2.3 — Аналого-цифровые преобразователи

В результате в АЦП устанавливается равенство  $UBX=U_{ЦАП}$  и соответствующий  $n$ -разрядный код входной аналоговой величины  $UBX$ . Время преобразования зависит от

числа разрядов и тактовой частоты и не зависит от величины преобразуемого аналогового напряжения. В 12-разрядных АЦП данного типа время преобразования составляет от 10 до 150 мкс. Погрешность АЦП определяется неточностью ЦАП, а также зоной нечувствительности и дрейфом нуля компаратора СС.

Метод считывания обеспечивает наибольшее быстродействие АЦП. В схеме АЦП считывания (рис. 8.2.3, в) преобразуемое аналоговое напряжение  $UBX$  одновременно сравнивается с использованием  $n$  компараторов СС с эталонными  $n$  уровнями напряжений  $UЭj$ , пропорциональных числам от  $2^0=1$  до  $2^{n-1}$   $n$ -разрядного двоичного кода. Эталонные уровни напряжений  $UЭj$  формируются в резистивном делителе и подаются на входы соответствующих компараторов вместе с преобразуемым аналоговым напряжением  $UBX$ . При  $UBX > UЭj$  на выходах компараторов СС устанавливается сигнал 0, а при  $UBX < UЭj$  — сигнал 1. Результаты сравнения с выходов компараторов поступают через RS-триггеры на входы шифратора CD, который преобразует результаты сравнений в двоичный параллельный  $n$ -разрядный код с весовыми значениями разрядов 1, 2, 4, ...,  $2^{n-1}$ . Изменения  $UBX$  приводят к изменению выходного кода АЦП. Установка триггеров в нулевое состояние осуществляется сигналом Уст.0.

Время преобразования в АЦП считывания составляет от 10 до 100 нс. Недостаток таких АЦП состоит в необходимости использования большого числа компараторов ( $2^n - 1$ ). Например, для построения 6-разрядного АЦП требуется 63 компаратора и столько же триггеров. Поэтому АЦП считывания обычно имеют число разрядов не более 8.

Перспективными средствами для реализации цифроаналоговых САУ являются аналоговые микропроцессоры, предназначенные для прямой обработки аналоговых (и цифровых) сигналов [8]. В структуре аналоговых микропроцессоров (АМП) имеется несколько каналов АЦП и ЦАП, а также цифровой процессор. Аналоговые МП выполняют функции аналоговых схем: генерации колебаний, модуляции, смещения частот, фильтрации, кодирования и декодирования сигналов в реальном масштабе времени и т.д., заменяя сложные электронные схемы. В таких МП входные аналоговые сигналы передаются через АЦП на обработку в цифровом МП и через ЦАП поступают на аналоговый выход. В аналоговых МП разрядность обрабатываемых данных достигает 24 и более при высокой скорости и производительности обработки сигналов.

## **8 Лекция №14,15 Комплексы технических средств. Программно-технические комплексы (4часа).**

### **1.8.1 Вопросы лекции:**

1. Устройства передачи связи с объектом управления.
2. Системы передачи данных.

### **1.8.2 Краткое содержание вопросов:**

#### *1. Устройства передачи связи с объектом управления.*

Из структуры системы связи видно, что устройства связи с объектом включают в себя устройства приема сигналов от датчиков АСУ ТП (коммутаторы аналоговых и цифровых сигналов, аналого-цифровой преобразователь, устройство приема цифровой информации) и устройства передачи команд управления на исполнительные устройства АСУ ТП (коммутатор цифровых управляющих сигналов, цифро-аналоговый преобразователь). На схеме рис. 8.1 не показаны устройства борьбы с помехами, а также устройства, подтверждающие достоверность информации и фиксирующие контроль правильности выполнения команд управления. Эта группа устройств реализуется либо специальными каналами передачи информации, либо входит в состав указанных на схеме устройств.

Обмен информацией между отдельными устройствами УВМ осуществляется через интерфейсы.

Под *интерфейсом* понимается совокупность унифицированных аппаратных, программных и конструктивных средств, необходимых для реализации алгоритма взаимодействия различных функциональных блоков в автоматизированных системах обработки информации и управления при условиях, предписанных стандартом и направленных на обеспечение информационной, электрической и конструктивной совместимости указанных блоков (см. также ГОСТ 26.016-81).

Связь УВМ с объектом управления обеспечивается через стандартный интерфейс ввода-вывода В (рис. 8.1), к которому подсоединены все устройства связи УВМ с объектом. Управление работой интерфейса В осуществляет канал ввода-вывода.

### ***Общие характеристики стандартных интерфейсов***

Стандартизация интерфейса предполагает в общем случае выделение *устройств-источников*, передающих информацию, *устройств-приемников*, воспринимающих эту информацию, и *устройств-контроллеров*, решающих, какой из источников может передавать, а какой из приемников должен принимать информацию. Наряду с функциями управления обменом информации контроллер сам может быть и приемником и источником.

Соединение устройств осуществляется *линиями связи*. Линии, сгруппированные по функциональному признаку или назначению, образуют *шины интерфейса*. Совокупность шин, т.е. всех линий, называют *магистралью*.

Составы шин и сигналов определяются задачами интерфейса. В общем случае по линиям интерфейса передают сигналы:

- адресные, передаваемые по адресной шине;
- управляющие (сигналы запроса, согласия на связь, сигналы, связанные с выполнением интерфейсных операций: сброса интерфейса, приема и выдачи данных, выборки);
- извещающие, вырабатываемые устройствами в ответ на управляющие сигналы: ответы о наличии связи, готовности к приему или выдаче данных, сигналы о наличии ошибок в считанной информации и т.п.;
- сигналы идентификации и дополнительные.

В интерфейсах часто используют *мультиплексирование* шин или разделение во времени функций одних и тех же шин с целью сокращения числа линий.

Структура интерфейса определяется топологией связываемых им устройств и поэтому различают радиальную, магистральную и смешанную структуры интерфейса.

В интерфейсах с **радиальной структурой** каждое из устройств-источников или устройств-приемников связано с центральным контроллером (концентратором) посредством индивидуальной группы шин с одинаковым их составом во всех группах. В интерфейсах с радиальной структурой приоритет определяется в основном (но не всегда) местом подключения кабеля, соединяющего абонент с контроллером. Система с радиальной структурой применяется для связи с удаленными объектами (периферийными устройствами) и имеет однонаправленные линии с одним источником информации.

В интерфейсах с **магистральной структурой** вместо групп индивидуальных шин имеются *коллективные шины*, к которым подключаются все устройства и контроллер-арбитр. Последний определяет единственное устройство, которое может быть в каждый момент времени подключено к шинам интерфейса. Пространственное распределение межсоединений, характерное для радиальной структуры, заменяется в магистральной временным распределением связей устройств-источников и устройств-приемников информации по одним и тем же линиям связи. В отличие от радиального в магистральном интерфейсе информация поступает от устройств-источников к устройствам-приемникам по принципу «каждый с каждым». Как и в радиальном интерфейсе, в магистральном

контроллер-арбитр имеет систему приоритетов при необходимости подключения к шинам одновременно нескольких абонентов.

В системах связи со **смешанной структурой шин** управление процессами адресации и идентификации устройства, запрашивающего сеанс связи, осуществляется по индивидуальным линиям.

В зависимости от способа передачи данных различают параллельный и последовательный интерфейс. В *параллельном интерфейсе*  $q$  разрядов данных передаются по  $q$  линиям связи. В *последовательном интерфейсе* передача данных осуществляется обычно по двум линиям: по одной передаются непрерывно тактовые (синхронизирующие) импульсы от таймера, по второй – информационные. Возможна *параллельно-последовательная* передача, когда  $q$ -разрядный код разделяется на  $n$  слогов (символов) и трансляцию производят последовательно посимвольно по  $k=q/n$  линиям из  $n$  посылок (один символ за одну посылку).

## 2. Системы передачи данных.

Обмен данными осуществляется по синхронному, асинхронному и смешанному принципам.

При *синхронном принципе* источник определяет темп выдачи и приема информации и синхронизирует все процессы перемещения данных во времени, при этом синхронизируется прохождение в линии каждого разряда.

*Асинхронный принцип* приема – передачи основан на методе *квитирования* или на методе «Запрос – ответ». В этом методе источник выдает данные и сигнал об их выдаче по одной из линий интерфейса (синхросигнал «Запрос»). Приемник фиксирует его поступление и, восприняв данные, извещает об этом по другой линии (сигнал «Ответ»). Источник, приняв «Ответ», снимает передаваемые данные и синхросигнал.

Основные технические характеристики интерфейсов ввода – вывода содержат сведения о:

- *вместимости*, определяющей максимально возможное количество одновременно подключаемых к контроллеру интерфейса абонентов;
- *пропускной способности* (скорости передачи), определяемой скоростью передачи данных, длительностью выполняемых операций связи, степенью совмещения процессов передачи данных;
- *максимальной длине линий связи*, зависящей от синхронного или асинхронного метода передачи данных (для большинства интерфейсов длина линий связи находится в диапазоне от 15 до 65 м);
- *разрядности* информационной шины.

### **Структуры каналов устройства связи с объектом**

**Устройство связи с объектом для ввода аналоговой информации.** Система связи УВМ с объектом дает лишь самое общее представление о составе устройства связи с объектом. Структура устройства связи с объектом может быть параллельной, последовательной и смешанной в зависимости от требуемого времени преобразования, допустимой стоимости оборудования, длины линий связи, точности преобразования.

На рис. 8.2 изображена структурная схема устройства связи с объектом с *параллельным вводом сигналов* от аналоговых датчиков  $D_1 - D_n$ .

Каждый  $i$ -й сигнал включает в себя измерительный преобразователь  $ИП_i$ , коммутатор с запоминанием информационного признака сигнала  $КЗУ_i$ , фильтр  $Ф_i$  с жесткой или настраиваемой структурой и аналого-цифровой преобразователь. Ввод информации в УВМ осуществляется через мультиплексор МС, общий для всех каналов. Управление работой перечисленных блоков устройства связи с объектом осуществляет контроллер К устройства связи с объектом, связанный с УВМ (микроЭВМ) магистралью данных МД1 и магистралью адресов МА.

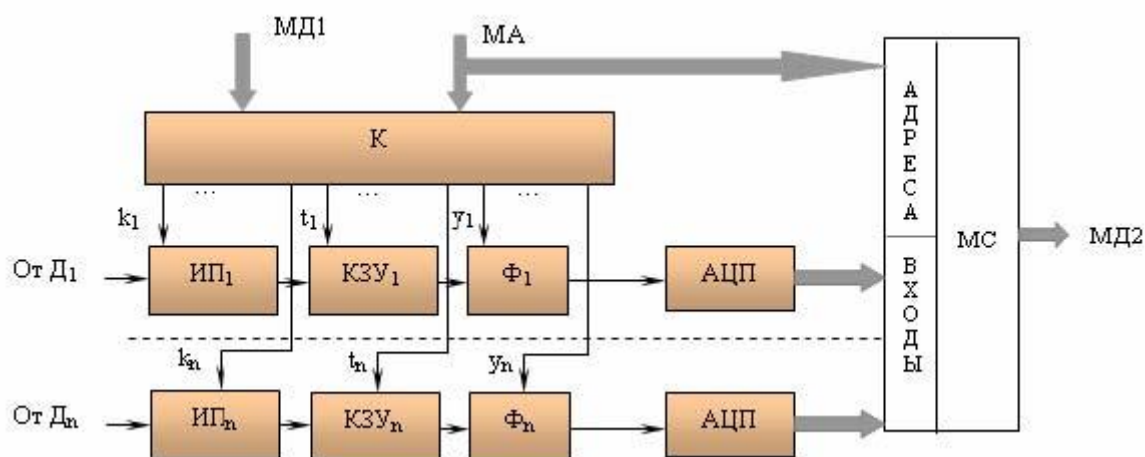


Рис. 8.2 Структурная схема устройства связи с объектом с параллельным вводом сигналов

Контроллер канала устройства связи с объектом синхронизирует работу параллельных каналов, в частности управляет коммутаторами с запоминанием КЗУ $i$  и мультиплексором МС. Кроме того, контроллер перестраивает измерительные преобразователи под конкретный тип датчика (сигналы  $k_i$ ) и постоянные времени фильтров  $\Phi_i$  (сигналы  $y_i$ ). В более простых случаях вместо контроллера используется генератор тактовых импульсов, жестко определяющий частоту квантования КЗУ $i$  и МС. Время преобразования сигнала от датчика до входа в магистраль данных МД2 УВМ при параллельном вводе определяется быстродействием блоков устройства связи с объектом, прежде всего аналого-цифрового преобразователя.

На рис. 8.3 изображена структура устройства связи с объектом с *последовательным* вводом сигналов от аналоговых датчиков.

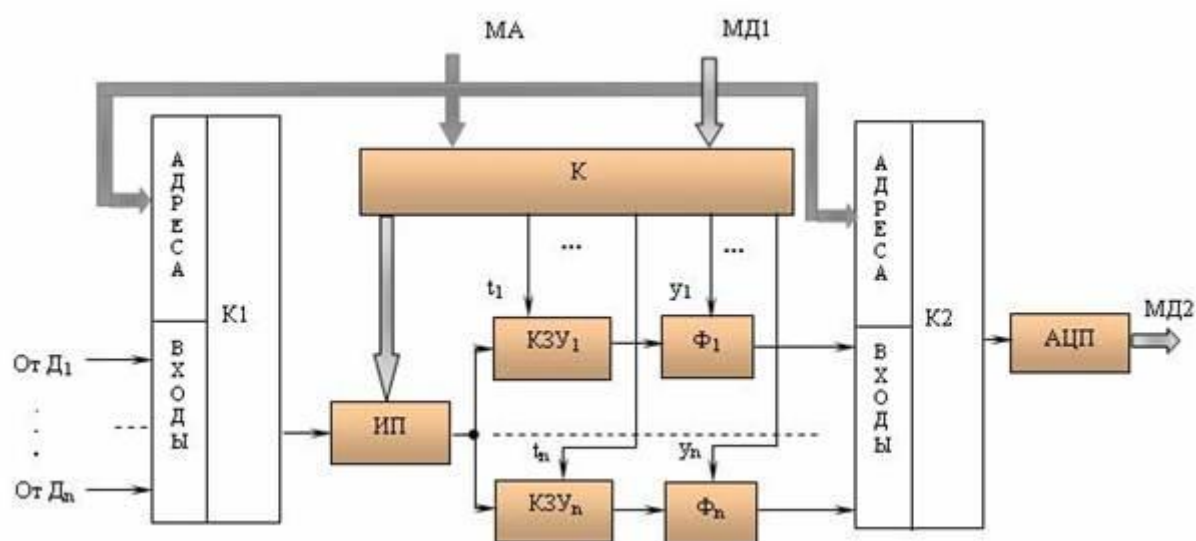


Рис. 8.3 Структурная схема устройства связи с объектом с последовательным вводом сигналов от аналоговых датчиков

В этой структуре устройства связи с объектом использованы общие для всех каналов измерительный преобразователь ИП и аналого-цифровой преобразователь АЦП и два коммутатора аналоговых сигналов K1 и K2 на входе и выходе, являющихся, по сути, мультиплексорами. Как и в предыдущей схеме, режимами коммутации и работой блоков управляет контроллер К, связанный с центральным процессором УВМ. Достоинство последовательного канала устройства связи с объектом состоит в сокращении числа

используемых дорогостоящих устройств, прежде всего измерительных преобразователей и аналого-цифровых преобразователей. При этом, однако, требуется дополнительный коммутатор каналов К1 и снижается быстродействие канала устройства связи с объектом с ростом числа датчиков

## **9 Лекция №16-17 Локальные управляющие вычислительные сети ( 4 часа).**

### **1.9.1 Вопросы лекции:**

1. Универсальные ЭВМ.
2. Цифровые средства обработки информации в САиУ.

### **1.9.2 Краткое содержание вопросов:**

#### *1. Универсальные ЭВМ.*

К группе устройств обработки, хранения информации и выработки команд управления, образующих *центральную часть* ГСП, относятся анализаторы сигналов, вторичные приборы, функциональные преобразователи, устройства памяти, логические устройства, автоматические регуляторы, задатчики, программные задатчики, а также информационно-управляющие вычислительные комплексы на основе микро- и мини-ЭВМ.

Особое место – в связи с возрастающим внедрением распределенных АСУ ТП – занимают  *типовые микропроцессорные средства контроля, регулирования и управления*, ориентированные на класс объектов, а не на отдельные конкретные технологические процессы.

Развитие типовых микропроцессорных средств идет в двух направлениях.

В соответствии с **первым направлением** функции контроля, регулирования и управления (нижний уровень распределенных многоуровневых АСУ ТП и локальные системы автоматики) с числом каналов контроля, регулирования и управления от 8 до 256 *сосредотачиваются в одной типовой микропроцессорной установке (станции)*, обладающей необходимой функциональной полнотой, автономностью, конструктивной законченностью.

По **второму направлению** функции управления нижнего уровня АСУ ТП *распределяются между специализированными микропроцессорными устройствами (контроллерами)*.

#### ***Автоматические регуляторы***

Несмотря на широкое использование управляющих вычислительных машин, микропроцессорных средств контроля и управления, автоматические регуляторы являются широко распространенными средствами автоматизации в составе локальных систем контроля и регулирования с числом контуров регулирования от 1 до 8-16 подсистем нижнего уровня иерархии управления в распределенных АСУ ТП и системах с супервизорным управлением (см. ГОСТ 21693 – 76).

Супервизорное управление состоит в следующем. По данным, поступающим от датчиков локальных подсистем через устройство связи с объектом, управляющая вычислительная машина вырабатывает значение уставок в виде сигналов, поступающих непосредственно на входы систем автоматического регулирования. Основная задача супервизорного управления – автоматическое поддержание процесса вблизи оптимальной рабочей точки. Кроме того, супервизорное управление позволяет оператору-технологу использовать плохо формализуемую информацию о ходе технологического процесса, вводя через управляющую вычислительную машину коррекцию уставок, параметров алгоритмов регулирования в локальные контуры.

*Главная функция регулятора* – формирование сигнала рассогласования между регулируемой величиной и ее заданным значением (уставкой) и динамическое

преобразование сигнала рассогласования по типовым алгоритмам (законам) регулирования. Управляющий сигнал с выхода регулятора поступает непосредственно на вход исполнительного устройства автоматической системы.

Однако к современным автоматическим регуляторам предъявляется ряд дополнительных эксплуатационных требований, основными из которых являются:

- безударный переход (т.е. без дополнительных переходных процессов в цепях) с режима ручного управления на автоматический и обратно;
- в режиме автоматического управления безударный переход с внешнего источника сигнала задания на внутренний (необходимый, например, в супервизорном управлении);
- ограничение выходного аналогового сигнала по верхнему и нижнему уровням и сигнализации предельных значений этих уровней;
- гальваническое разделение входных и выходных цепей;
- связь с управляющей вычислительной машиной верхнего уровня иерархии управления;
- аналоговая и дискретная автоподстройка динамических параметров регулятора, необходимая для построения адаптивных систем управления.

Автоматические регуляторы электрической ветви в зависимости от вида электрического сигнала разделяются на *аналоговые, дискретные и гибридные* (аналого-дискретные). В свою очередь, дискретные регуляторы могут быть *импульсными и цифровыми*. В аналоговых регуляторах информационный сигнал непрерывен на всем тракте формирования сигнала регулирования. В дискретных регуляторах в одной или нескольких точках тракта формирования регулирующего сигнала происходит *импульсная модуляция* сигнала либо по *амплитуде*, либо по *длительности (ширине)* импульсов, либо по *частоте* импульсов; модуляция по *уровню* в релейных регуляторах и модуляция по *уровню и амплитуде* в цифровых регуляторах. В гибридных регуляторах информационные сигналы имеют как аналоговую, так и дискретную природу в различных точках тракта формирования регулирующего сигнала.

## 2. Цифровые средства обработки информации в САиУ.

Структурные схемы автоматических регуляторов – аналоговых и дискретных – с типовыми алгоритмами регулирования могут быть получены на основе известных в теории автоматического регулирования методов коррекции, когда желаемые динамические характеристики (алгоритмы) достигаются с помощью последовательных и параллельных корректирующих цепей (активных и пассивных) и обратных связей. В ряде случаев исполнительные механизмы также участвуют в формировании необходимого алгоритма.

На рис. 10.1 – 10.3 изображены основные структуры, в соответствии с которыми построено большинство промышленных регуляторов с типовыми алгоритмами.

На структурных схемах приняты следующие обозначения: 1 – преобразователь входной величины  $X$ ; 2 – усилительное устройство; 3 – функциональная обратная связь; 4 – исполнительное устройство (механизм), сигнал с выхода которого  $\mu$  управляет объектом,  $X_0$  – уставка.

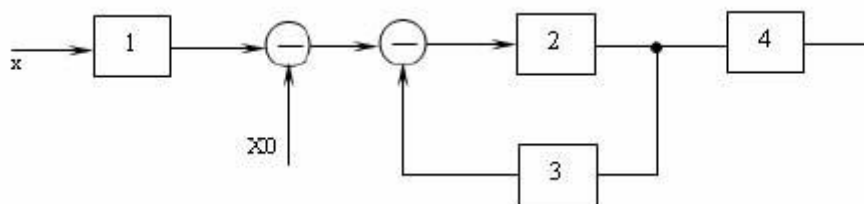


Рис. 10.1

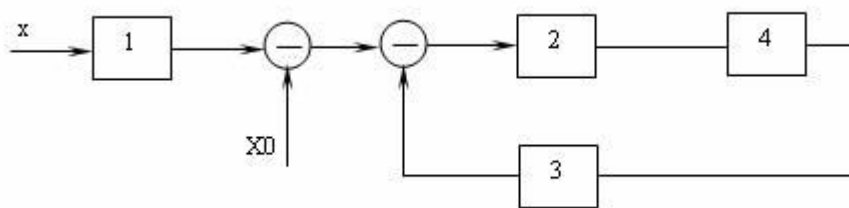


Рис. 10.2

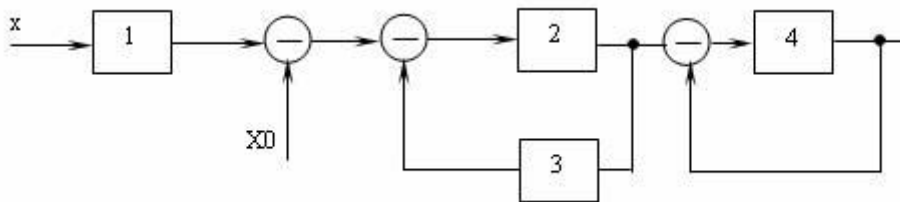


Рис. 10.3

Преобразователь 1 может осуществлять демпфирование входных сигналов, пропорциональных регулируемым параметрам, преобразование токовых сигналов в сигналы напряжения, суммирование нескольких входных сигналов, масштабирование, активную фильтрацию помех и т.д. Формирование алгоритма осуществляется корректирующей обратной связью 3, охватывающей усилитель 2, и исполнительным устройством 4.

В структурной схеме на рис. 10.1 функциональная обратная связь 3 не охватывает исполнительное устройство 4, поэтому эта структура называется структурой без обратной связи по положению исполнительного устройства. В регулирующих устройствах этого типа устройство 4 выполняется чаще всего в виде интегрирующего двигателя с преобразователем угла поворота (датчик положения), а его передаточная функция входит в передаточную функцию закона регулирования.

В отличие от этих регуляторов структуры на рис. 10.2 соответствуют так называемым регуляторам с обратной связью по положению исполнительного устройства.

В структурной схеме на рис. 10.3 исполнительное устройство охватывается жесткой обратной связью и носит название *позиционера*, так как его выходная величина – регулирующее воздействие  $\mu$  – пропорциональна входному. Закон регулирования определяется блоками 2 и 3.

### **Типовые установки централизованного контроля и управления**

Установки централизованного контроля и регулирования являются основным техническим средством централизованных систем контроля, регулирования и управления. Характерными задачами, выполняемыми этим классом систем, являются дистанционный контроль, регулирование и управление технологическим объектом управления, территориально отдаленным от центрального пульта оператора. На установки централизованного контроля и регулирования в таких системах возлагаются функции измерения технологических параметров, их регистрации (непрерывной или выборочной), сигнализации (звуковой, световой) отклонений параметров от заданных значений, регистрации отдельных событий (например, аварийных), выработки регулирующих двух- или трехпозиционных сигналов, управления блоками защиты, логико-командное управления.



С точки зрения построения структуры установки централизованного контроля и регулирования наибольшее распространение (при достаточно большом числе контролируемых параметров) нашла структура параллельно-последовательного типа, упрощенная схема которой изображена на рис. 10.4.

Контролируемые параметры  $x_1, \dots, x_n$  подключаются с помощью коммутатора последовательно к измерительному преобразователю и аналого-цифровому преобразователю. В устройстве сравнения унифицированный сигнал (в аналоговой или цифровой форме) сравнивается с уставками (нижними и верхними допустимыми значениями). Сигналы с выхода устройства сравнения поступают на различные устройства сигнализации и устройства формирования регулирующих воздействий, а также на регистрирующие устройства. Работой всей системы управляет устройство управления.

В более сложных современных установках контроля и регулирования центральным устройством является микроЭВМ, выполняющая разнообразные функции обработки информации и управления обменом данными между всеми устройствами в составе установки.

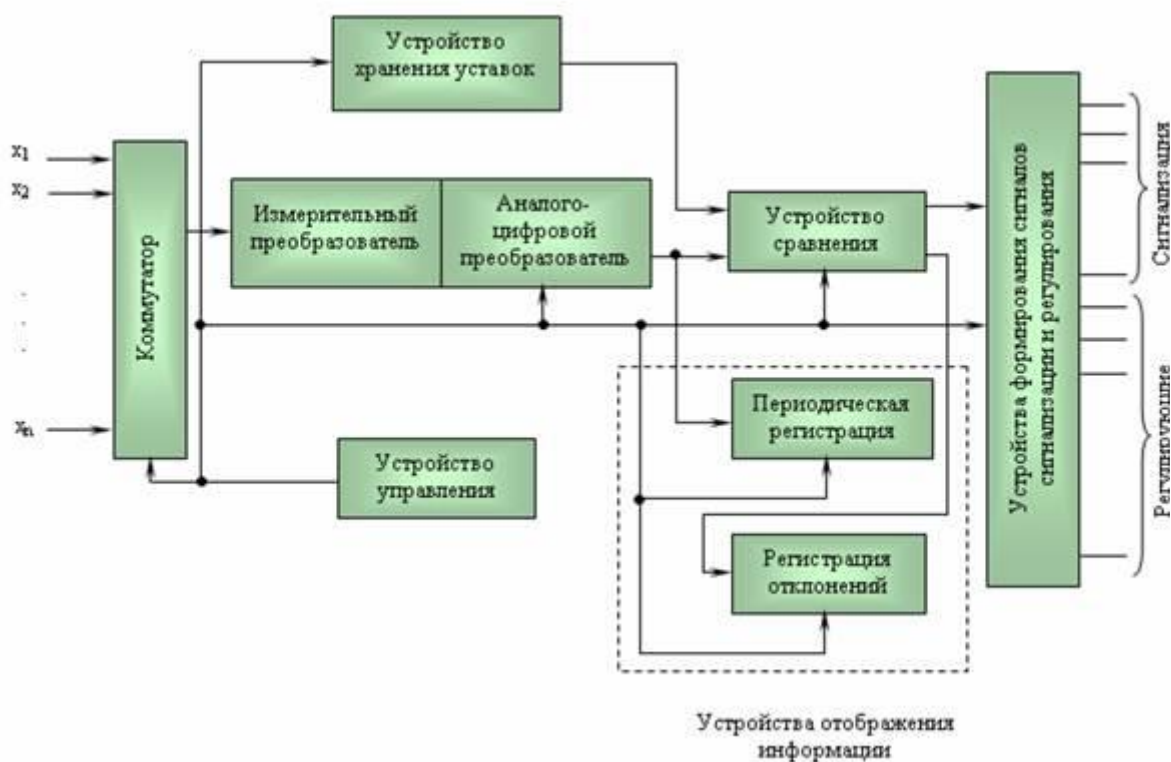


Рис. 10.4 Типовая структура установки централизованного контроля и регулирования

Комплексная автоматизация современного производства предполагает реализацию систем управления технологическими процессами в виде иерархических многоуровневых распределенных систем управления, наилучшим образом соответствующих принципам организационно-технологического управления территориально рассредоточенным производством. Техническая реализация таких систем осуществляется на основе многомашинной вычислительной системы – локальной управляющей вычислительной сети (ЛУВС) с распределенной обработкой данных. При этом функции, а следовательно, состав, производительность и программное обеспечение информационно-управляющих вычислительных комплексов (ИУВК), объединяемых в ЛУВС, оказываются чрезвычайно разнообразными, что объясняется разнообразием объектов управления и решаемых задач.

Термин	Определение
--------	-------------

Координирующий управляющий вычислительный комплекс УВК	Подсистема иерархического УВК, состоящая из одной (или более) вычислительной системы, устройства связи с оперативным персоналом и аппаратно-программных средств для автоматического обмена данными с вышестоящими подсистемами управления и координируемыми подсистемами нижестоящего уровня
МикроУВК	Подсистема иерархического УВК, состоящая из одной (или более) вычислительной системы на базе микроЭВМ, устройства связи с датчиками и исполнительными органами ТООУ или аппаратно-программных средств с нижестоящими подсистемами, а также средств автоматического обмена данными с вышестоящими подсистемами и подсистемами своего уровня управления и/или оперативным персоналом
Устройства связи с датчиками и исполнительными органами (УСДИО)	Устройства, включающие вторичные преобразователи сигналов, коммутаторы, схемы связи с каналами ввода-вывода центральной части микроУВК и другие устройства (уточненное определение устройства связи с объектом)
Устройства связи с оперативным персоналом (УСОП)	Устройства, обеспечивающие режим диалога или интерактивный режим работы частей УВК, требуют соответствующее программное и лингвистическое обеспечение
Устройства связи между ЭВМ (УСИ)	Устройства УВК, реализующие функции интерфейсов физического уровня ЛВС, адаптеров магистралей, контроллеров связи между ЭВМ различных классов и др.
Концентратор линий связи	Специализированное аппаратное или аппаратно-программное средство для уплотнения линий связи с ЛВС
Контроллер	Подсистема иерархического УВК, представляющая аппаратно и/или программно управляемый автомат, выполняющий функции управления локальным объектом и работающий по однозначно заданным алгоритмам без взаимодействия с оперативным персоналом
Микропроцессор широкого назначения	Программно- или микропрограммноуправляемый процессор, выполненный в виде одной (монолитный) или нескольких БИС
Специализированный микропроцессор	Устройство на одной или нескольких БИС, логическая схема которого спроектирована для строго определенного вида математической и логической обработки данных (например, интерполирование); к разновидности можно отнести так называемый процессор сигналов, предназначенный для цифровой обработки аналоговых сигналов - включает АЦП
МикроЭВМ широкого назначения	Конструктивно законченная ЭВМ на основе микропроцессорного набора БИС или одной БИС, имеющая архитектуру универсальной ЭВМ с программным управлением
Специализированная микроЭВМ	Конструктивно законченная ЭВМ на основе специализированного микропроцессора или микропроцессора широкого назначения, ориентированного на строго определенный вид обработки данных

### ***Особенности функционирования ИУВК в АСУ ТП***

Информационно-управляющий вычислительный комплекс, основное назначение которого в АСУ ТП состоит в управлении совокупностью объектов управления, в том

числе и динамических, должен работать в реальном масштабе времени. Реальный масштаб времени заставляет учитывать по крайней мере две особенности систем с ИУВК в контуре управления:

1. Запаздывание при формировании управления на каждом периоде дискретности, обусловленное природой цифрового управления; его величина ограничена допустимым значением, задаваемым при проектировании системы управления, и зависит от состояния управляемого процесса и собственно ИУВК.

2. Эффект старения информации, вызванный тем, что измерение координат в цифровой системе управления осуществляется последовательно во времени с некоторым шагом  $\Delta t$ , а оценка состояния системы, выработка управляющего воздействия и прогноз поведения системы требуют, как правило, значения

вектора измеримых координат в определенный, фиксированный момент времени  $t_k$ , при этом  $n \cdot \Delta t$  – время, необходимое для измерения  $n$  координат системы. Поэтому приходится, используя различные способы экстраполяции, восстанавливать значение каждой  $i$ -й координаты системы на интервале времени  $t_k + (n-1) \cdot \Delta t$ . Учитывая, что погрешность экстраполяции зависит от статистических характеристик восстанавливаемой функции и от времени экстраполяции, необходимо выбрать такую последовательность опроса датчиков, при которой суммарная погрешность экстраполяции минимально влияла бы на качество управления. Эффект старения информации может привести к ситуации, когда увеличение числа измеримых координат не приводит к улучшению качества управления.

По тем же причинам оказывается не всегда выгодным использование сложных алгоритмов экстраполяции, так как это увеличивает общее время опроса. Учет реального времени в управляющем вычислительном комплексе осуществляется специализированным устройством – *таймером*.

ИУВК в АСУ ТП работает с большим числом источников и потребителей информации, каждый из которых работает асинхронно, т.е. информация от объектов и запросы на обслуживание поступают в произвольные моменты времени. Асинхронность поступления заявок приводит к тому, что в условиях ограниченного ресурса ИУВК в вычислительной системе формируется очередь на обслуживание. Учитывая, что ИУВК работает в реальном масштабе времени, а информация в системе имеет различную ценность и достоверность, обслуживание заявок в ИУВК является приоритетным. В связи с необходимостью приоритетного обслуживания заявок в ИУВК организуется *система прерываний*, под которой понимается совокупность аппаратных и программных средств, обеспечивающая переключение процессора с выполняемой программы на другую, имеющую более высокий приоритет, при этом сохраняется возможность возврата к прерванной программе.

Работа ИУВК в реальном масштабе времени с большим числом источников и потребителей информации в условиях ограниченных ресурсов ИУВК требует организации *мультипрограммного режима* работы ИУВК, т.е. режима, при котором параллельно выполняется несколько программ путем совмещения работы во времени внешних устройств и процессора. Технические средства ИУВК, работающего в мультипрограммном режиме, должны обеспечивать одновременное хранение в оперативном запоминающем устройстве нескольких программ; допускать параллельную работу процессора и внешних устройств; организацию прерывания программ, а ее программное обеспечение – планировать порядок выполнения задач; распределять ресурсы ИУВК; производить защиту памяти от несанкционированного вмешательства одной задачи в другую при их параллельной работе и выполнять ряд других функций.

При реализации системы управления технологическими процессами и производством в целом необходимо выбирать ИУВК, наилучшим образом удовлетворяющий решаемой задаче. При этом необходимо учитывать, что в современных АСУ ТП информационно-управляющий комплекс очень редко работает как самостоятельное, обособленное, не включенное в ЛУВС устройство.

ИУВК в АСУ ТП (особенно в контуре прямого цифрового управления), как правило, не должен производить сложных расчетов с высокой точностью. Это позволяет использовать в АСУ ТП ИУВК с коротким машинным словом (1-2 байт). Короткое машинное слово, резко снижая объем схмотехнического оборудования, требует разработки вычислительных машин с архитектурой, отличной от архитектуры универсальных ЭВМ, ориентированных на выполнение вычислительных работ большого объема и высокой точности.

С другой стороны, достижения микроэлектронной технологии сделали возможным выпуск сравнительно дешевых, высоконадежных и высокопроизводительных вычислительных машин, что, возможно, потребует в какой-то степени пересмотреть вопросы организации системы управления технологическими процессами.

ИУВК в АСУТП должны иметь повышенную надежность, которая достигается резервированием аппаратуры. Здесь следует выделить два основных направления. Первое – разработка ИУВК в виде *отказоустойчивой вычислительной сети*, включающей в себя несколько ИУВК и допускающей реконфигурации технических и программных средств. Второе – разработка *отказоустойчивого (толерантного) ИУВК* путем дублирования отдельных блоков и узлов с самодиагностикой и возможностью подключения резервного блока вместо отказавшего.

#### **Функциональная организация ИУВК в АСУ ТП**

Информационные и управляющие функции ИУВК, регламентируемые Общеотраслевыми руководящими методическими материалами (ОРММ) по созданию АСУ ТП, и особенности функционирования ИУВК в АСУ ТП делают необходимым реализацию ИУВК в виде специализированного комплекса, включающего в себя:

- устройство центрального управления и арифметической и логической обработки информации (ПРОЦЕССОР);
- устройство связи с объектом (УСО);
- устройства хранения информации (ПАМЯТЬ);
- устройства внутрисистемной связи, обеспечивающие связь между отдельными модулями (устройствами) собственно ИУВК, и устройства внесистемной связи (модемы, телефонные, кабельные и другие линии связи);
- устройство связи с оперативным персоналом (операторами-технологами; диспетчерскими службами, обслуживающим персоналом и др.);
- устройство отсчета реального времени (ТАЙМЕР).

Функциональная схема ИУВК приведена на рис. 11.1.

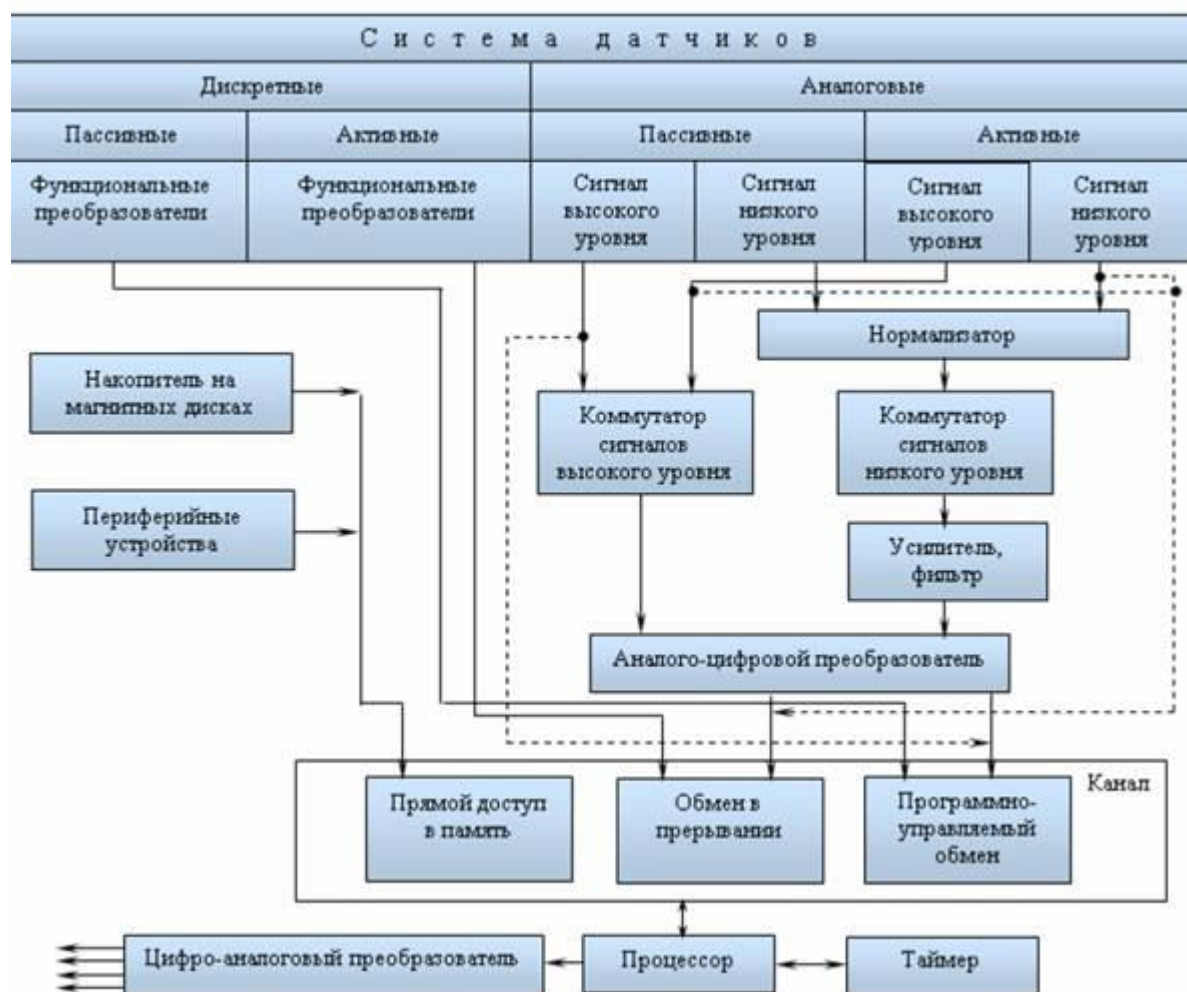


Рис. 11.1 Функциональная схема ИУВК

Все источники и потребители информации в АСУ ТП подразделяются на *пассивные*, работа которых инициируется процессором, и *инициативные (активные)*, которые по собственной инициативе, на основании анализа состояния управляемого процесса и комплекса технических средств, включая ИУВК, выставляют запрос на необходимые им ресурсы АСУ ТП. Признак пассивности (инициативности) устройства задается при генерации операционной системы ИУВК. В связи с этим в ИУВК реализуются обмены: программно-управляемый без прерывания, программно-управляемый в режиме прерывания, обмен в режиме прямого доступа к памяти (ПДП).

Каждый из режимов обмена имеет характерные особенности и отличается временем доступа.

Реализация обмена ИУВК осуществляется КАНАЛОМ ввода-вывода, который всегда может рассматриваться как обособленное *логическое устройство управления обменом*. В отличие от универсальных вычислительных машин, в которых канал выполняется в виде специализированного устройства, работающего по собственной программе, в ИУВК, как правило, реализуется так называемый *встроенный канал*, в котором функции канала распределены между процессором, контроллерами периферийных устройств и специализированными схемами.

Преобразование аналогового сигнала в машинное слово включает в себя совокупность операций, которая образуется из операций нормализации, фильтрации, коммутации, усиления, аналого-цифрового преобразования и записи полученного кода в буферный регистр. Каждая из операций характеризуется временем преобразования  $\tau$  и точностью выполнения  $\delta$ . Время выполнения рассматривается как запаздывание.

Аналогичными показателями характеризуется и тракт ввода дискретных сигналов. Каждому инициативному источнику (потребителю) информации противопоставляется, кроме того, приоритет  $p$ , характеризующий в каждый заданный момент времени важность источника или потребителя информации в системе. Таким образом, каждому источнику информации противопоставляются в АСУ ТП следующие параметры:  $\delta$  - точность преобразования,  $\tau$  - время преобразования,  $p$  – относительный приоритет.

Все эти параметры являются обобщенными и зависят от используемых технических средств и алгоритмов преобразования. Выбор технических средств и алгоритмов преобразования определяются измеряемым сигналом и характеристиками используемого датчика.

### ***Структурная организация ИУВК***

Модульная организация ГСП и многоуровневая система унифицированных интерфейсов позволяют компоновать специфицированные комплексы технических средств АСУ ТП, полностью учитывающие особенности управляемого процесса.

В соответствии с функционально-целевым назначением промышленность выпускает терминальные и базовые вычислительные комплексы, обеспечивающие решение типовых задач АСУ ТП следующих уровней:

1. Уровень формирования дискретного сообщения. Формирователями сообщений являются аналоговые и дискретные датчики, удовлетворяющие требованиям ГСП. Источники информации этого уровня имеют последовательный или параллельный низкоскоростной ввод.

2. Уровень регистрации и диспетчеризации сообщений. Сообщения, поступившие с рабочих мест, контролируются (аппаратно), привязываются к временным меткам и концентрируются. Аппаратура уровня может работать в режиме накопления и в режиме передачи.

3. Уровень терминального процессора. Терминальный процессор выполняет роль программируемого мультиплексора, обеспечивая прием и передачу информации на различных скоростях и различной разрядности. К нему могут быть подключены высокоскоростные источники и, в частности, мини- и микроЭВМ, осуществляющие управление локальными подсистемами АСУ ТП.

4. Уровень коммутации сообщений от подсистем сбора и первичной обработки информации. Терминальные процессоры могут непосредственно подключаться к аппаратуре более высокого уровня.

5. Уровень многомашинных комплексов. Аппаратура этого уровня позволяет объединять ЭВМ различных классов в единый комплекс.

Структурная организация ИУВК, т.е. способ соединения отдельных устройств, в значительной степени определяет надежность и живучесть комплекса, сложность его программного обеспечения и удобство эксплуатации.

## **2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

### **2.1 Лабораторная работа №1,2,3 ( 6 часов).**

**Тема:** «Исследование Программное обеспечение САиУ»

**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.

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

3. Снять и построить внешнюю характеристику выпрямителя, изменяя величину нагрузки сопротивлением  $R_{11}$ .

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

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 ( $I_n = 100mA$ ) осциллограммы выпрямленного напряжения, напряжения на тиристорах, напряжения на управляющих электродах тиристоров (снимается относительно катодов тиристоров), тока на выходе выпрямителя, тока вторичной и первичной обмоток трансформатора.

Осциллограммы 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 заданных преподавателем углов управления, изменяя величину нагрузки сопротивлением  $R_2$ .

9. Снять и построить регулировочную характеристику  $U_{cp} = f(\alpha)$  управляемого выпрямителя для номинального тока нагрузки. Угол управления изменяется резистором  $R_3$ , а его величина определяется по осциллограмме 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 № 4,5,6,7 ( 6 часов).

**Тема:** «Устройства взаимодействия с оперативным персоналом САиУ»

**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 осциллограммы 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

$$K_{сгл} = f(I_{cp}),$$

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

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

$$Kn = \tilde{U}_{\max} / U_{cp}$$

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

-  $\tilde{U}'_{\max}, \tilde{U}_{\max}$  амплитуда переменной составляющей соответственно на входе и выходе фильтра,

$U'_{cp}, U_{cp}$  - среднее значение напряжения соответственно на входе и выходе фильтра.

Сравнить рассчитанное значение допустимой для заданного значения  $K_{сгл}$  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

$$K_{сгл} = f(I_{cp}),$$

где

$$K_{сгл} = K'n / Kn;$$

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

$$Kn = \tilde{U}_{\max} / U_{cp}$$

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

$\tilde{U}'_{\max}, \tilde{U}_{\max}$  - амплитуда переменной составляющей соответственно на входе и выходе фильтра,

$U'_{cp}, U_{cp}$  - среднее значение напряжения соответственно на входе и выходе фильтра.

Сравнить рассчитанное значение допустимой для заданного значения  $K_{сгл}$  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 № 8,9,10,11 ( 8 часов).



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

**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  $R_{10}$  и  $R_7$ , а также  $K_{ст}$  и  $R_{вых}$ .
- 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  $R_{10}$ ,  $R_7$  и  $R_{11}$ . Включить стенд и замерить с помощью цифрового вольтметра выходное напряжение и сравнить с расчетным значением.
3. Установить заданные значения  $U_{вых}$  и  $I_{ном}$  и изменяя входное напряжение (включая или отключая резистор  $R_4$ ) замерить входные и выходные напряжения. Определить реальный коэффициент стабилизации стабилизатора по формуле:  
$$K_{ст} = (\Delta U_{вх}/U_{вх})/(\Delta U_{вых}/U_{вых})$$
 и сравнить с расчетным.
4. Изменяя сопротивление нагрузки  $R_{11}$  снять выходную характеристику стабилизатора  
$$U_{вых} = f(I_{н})$$
  
Ток изменяют от 0 до  $I_{нmax}$ . Рассчитать реальное выходное сопротивление  $R_{вых}$  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  $R_{11}$  определить  $I_{нmax}$ , при котором срабатывает схема защиты. Определить ток нагрузки, который протекает через транзистор  $V_8$  после срабатывания защиты. Рассчитать мощность, которая рассеивается на этом транзисторе.
7. Сравнить все полученные экспериментальные данные с расчетными и объяснить возможные расхождения.

**2.4 Лабораторная работа №12,13,14,15 ( 8 часов).**

**Тема:** «Исследование типовых схем усилителей на биполярных транзисторах»

**2.4.1 Цель работы:** Исследование характеристик и параметров усилительных каскадов на биполярных транзисторах в схемах: с общим эмиттером (ОЭ) и отрицательной обратной связью (ООС) по току; с общим коллектором (ОК).

**2.4.2 Задачи работы:**

1. Изучить принцип работы схем усилительных каскадов на БТ с ОЭ и ОК.
2. Изучить порядок расчета схем усилительных каскадов БТ с ОЭ и ОК.

3. По известным элементам схемы усилителей рассчитать величину сопротивления  $R_{23}$  с учетом наименьших нелинейных искажений.
4. Рассчитать значения основных параметров для названных схем включения усилителей  $K_u$ ,  $K_i$ ,  $K_p$ ,  $R_{вх}$  и  $R_{вых}$ , работающих в области средних частот ( $f = 1000 \text{ Гц}$ ).
5. Нарисовать схемы исследуемых усилительных каскадов.
6. Ознакомиться с порядком сборки схем на стенде.

### 2.4.3 Описание (ход) работы:

1. Собрать схемы источника питания и генератора синусоидальных колебаний (см. паспорт к стенду). Выставить заданное преподавателем напряжение питания усилительных каскадов.
2. Собрать схему усилителя без шунтирующего конденсатора в цепи эмиттера, на основе схемы рис. 5.3, установив рассчитанное значение резистора  $R_{23}$ .
3. Подать на вход усилителя от генератора ГС1 синусоидальный сигнал частотой  $f = 1 \text{ кГц}$  и амплитудой  $U_{вхт} = 0,05 \text{ В}$ . Замерить с помощью осциллографа амплитуду выходного сигнала  $U_{выхт}$  и зарисовать осциллограммы входного и выходного напряжений.  
Рассчитать коэффициент усиления каскада по напряжению, току и мощности.
4. Изменяя величину сопротивления  $R_{23}$  по осциллографу определить момент появления в выходном сигнале больших нелинейных искажений и зарисовать осциллограмму этого напряжения.
5. Включить емкость в цепь эмиттера и выполнить операции п.п. 3 и 4.
6. Установить амплитуду входного сигнала  $U_{вхт} = 0,05 \text{ В}$ .  
Изменяя частоту входного сигнала от 0 до 100 кГц снять амплитудно-частотную характеристику усилителя и построить ее.
7. Подать на вход усилителя синусоидальный сигнал частотой  $f = 1 \text{ кГц}$ . Изменяя амплитуду входного сигнала  $U_{вхт}$  от 0 до 0,5 В (порядка 10 значений) построить амплитудную характеристику усилителя. Для каждого значения  $U_{вхт}$  зарисовать осциллограмму выходного напряжения. Определить  $U_{выхтах}$  в момент появления существенных нелинейных искажений.
8. Собрать схему ЭП согласно рис. 5.4.
9. Для данной схемы провести исследования согласно п.п. 3, 6, 7.
10. Сравнить результаты теоретических расчетов и практических исследований, сформулировать выводы по каждому пункту рабочего задания.

## 3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

### 3.1 Практическое занятие №1,2,3,4 ( 6 часов).

**Тема:** «Введение. Типовые структуры и средства систем автоматизации и управления (САиУ) техническими объектами и технологическими процессами»

#### 3.1.1 Задание для работы:

1. Изучить статические характеристики измерительных преобразователей

#### 3.1.2 Краткое описание проводимого занятия:

Исследование влияния обратных связей на свойства динамических звеньев может проводиться либо на универсальном стенде, либо на его численной модели.

**Описание схемы стенда.** Блочно-принципиальная схема стенда приведена на рис. 1.1. Он состоит из двух основных блоков – электронного и электромеханического, соединённых между собой электрическим кабелем.

Электромеханический блок включает двигатель постоянного тока с независимым возбуждением (**М**), генератор (**G**) и тахогенератор (**Tг**). Валы их механически соединены между собой муфтами. К генератору через переключатель «Нагрузка» может подключаться переменный резистор  $R_n$ . Генератор с нагрузочным резистором используется для создания момента нагрузки на двигатель. С увеличением тока через резистор  $R_n$  увеличивается момент сопротивления нагрузки, приложенный к валу двигателя. Величина этого момента пропорциональна току якоря двигателя и контролируется амперметром с обозначением на лицевой панели стенда «Нм».

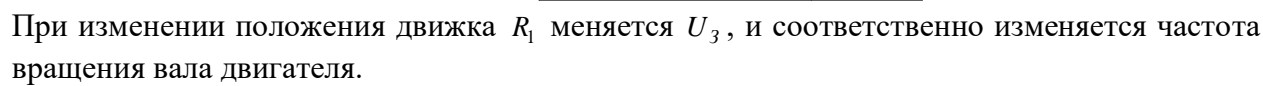
Для измерения скорости вращения вала двигателя используется тахогенератор (**Tг**). Величина его выходного напряжения измеряется вольтметром  $V_n$ , так как это напряжение пропорционально частоте вращения вала двигателя **М**, то на стенде указано обозначение «рад/с». Это напряжение может контролироваться и с помощью осциллографа. Оба прибора подключаются к гнезду « $U_{тг}$ ».

Электронный блок включает в себя тиристорный усилитель (**ТУ**), источники питания (на схеме не показаны), органы управления, измерительные приборы и сменный модуль, который состоит из задатчика, двух усилителей, дифференциатора и 3-х гнезд для подключения измерительных приборов. Коэффициент усиления первого усилителя (собранный на операционном усилителе **DA1**) может изменяться с помощью переключателя **S2** « $K_y$ ».

С помощью задатчика (резистор  $R_1$ ) формируется входное напряжение  $U_z$ , пропорциональное заданному значению частоты вращения вала двигателя. Это напряжение через тумблер « $\square$ » поступает на один из входов усилителя **DA1**, что позволяет, включая и выключая этот тумблер, формировать ступенчатый сигнал  $U_{z1}(t)$  на входе электронного блока. На два других входа усилителя **DA1** поступает сигнал с тумблера **S3** «ПОС/ООС», который служит для изменения знака обратной связи.

Переключатель **S1**: «БОС», «ГОС», «ЖОС» служит для отключения обратной связи (в положении БОС – без обратной связи) и изменения её вида: гибкая обратная связь (ГОС) или жёсткая обратная связь (ЖОС).

Работа схемы, представленной на рис. 1.1, протекает следующим образом. При включении питания, когда переключатель **S1** находится в положении БОС, блок «усилитель-двигатель» работает без обратной связи. Напряжение с потенциометра  $R_1$  усиливается усилителем **DA1**, а затем через тиристорный усилитель поступает на двигатель. Под действием этого напряжения вал двигателя в холостом режиме вращается с некоторой частотой, о величине которой можно судить по показаниям вольтметра  $V$ , «рад/с».



52

При переводе переключателя **S1** в положение ГОС или ЖОС блок «усилитель-двигатель» охватывается гибкой или жёсткой обратной связью, знак которой определяется положением тумблера **S3**: «ПОС/ООС».

Описанное устройство является объектом исследования в различных режимах его работы: БОС, с ГОС и с ЖОС, как положительной, так и отрицательной. Процессы, происходящие в этом устройстве, как будет показано ниже, характеризуют его как типовое динамическое инерционное звено.

**Уравнение звена без обратной связи.** Исследование влияния обратных связей на свойства динамических звеньев в данной работе проводится путём сравнения передаточных и переходных функций звена, охваченного и неохваченного обратной связью.

Для вывода соответствующих выражений рассмотрим вначале схему блока «усилитель-двигатель» без обратной связи (рис. 1.2), на которой электронный **ДА1** и тиристорный **ТУ** усилители представлены усилителем **У** с сумматором на его входе.

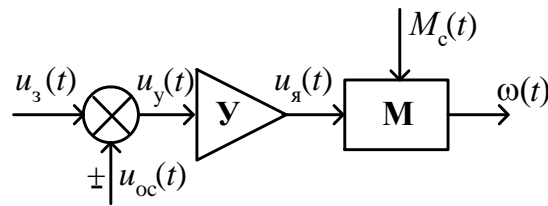


Рис. 1.2. Структурная схема блока «усилитель-двигатель»

$$u_{я}(t) = K_y u_y(t) = K_y (u_з(t) \pm u_{ос}(t)), \quad (1.1)$$

где  $K_y$  – общий коэффициент усиления по напряжению усилителей **ДА1** и **ТУ**.

В первом приближении при выводе математической модели двигателя постоянного тока с независимым возбуждением можно пренебречь индуктивностью якорной цепи и рассеянием магнитного потока двигателя.

При этом если момент нагрузки  $M_c(t) = 0$ , то изменения частоты (скорости) вращения вала двигателя описываются дифференциальным уравнением следующего вида:

$$T_m \frac{d\omega(t)}{dt} + \omega(t) = K_{\partial u} u_{я}(t), \quad (1.2)$$

где  $K_{\partial u}$  – коэффициент передачи двигателя по напряжению,  $T_m$  – его электромеханическая постоянная времени.

Так как усилитель и двигатель рассматриваются как одно динамическое звено, то переменные  $u_y(t)$ ,  $u_{я}(t)$  являются внутренними и их можно исключить из уравнений (1.1) и (1.2). В результате получается уравнение вход-выход этого динамического звена:

$$T_m \frac{d\omega(t)}{dt} + \omega(t) = K(u_з(t) \pm u_{ос}(t)), \quad (1.3)$$

где  $K = K_y K_{\partial u}$  – коэффициент передачи звена.

Как видно, динамическое звено «усилитель-двигатель» при указанных допущениях описывается уравнением первого порядка и является инерционным звеном, которое имеет два параметра  $K$  и  $T_m$ . Если в какой-то момент времени, принятый за начало отсчёта, напряжение  $u_з(t)$  изменяется скачком, то такое изменение обычно описывается с помощью единичной ступенчатой функции  $1(t)$ , т.е.

$$u_з(t) = U_з 1(t), \quad (1.4)$$

где  $U_з$  – максимальная величина скачка задающего напряжения.

Так как обратной связи нет, то второй вход сумматора (рис. 1.2) пока обесточен, т.е.  $u_{ос}(t) = 0$ . Поэтому, подставив выражение (1.4) в уравнение (1.3) и решив его при

нулевых начальных условиях и при  $u_{oc}(t) = 0$ , получим изменение частоты вращения вала двигателя в виде

$$\omega(t) = KU_3 \left( 1 - e^{-\frac{t}{T_m}} \right). \quad (1.5)$$

Графики функций (1.4) и (1.5) приведены на рис. 1.3. На графиках хорошо видно, что частота вращения вала двигателя сначала возрастает (переходный режим), а затем принимает (установившийся режим) некоторое постоянное значение, прямо пропорциональное коэффициенту передачи  $K$ .

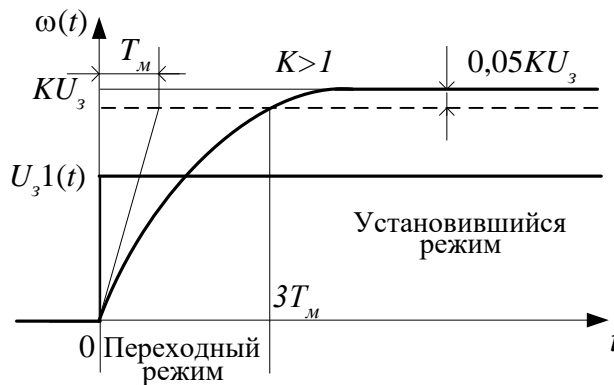


Рис. 1.3. Графики функций (1.4), (1.5) инерционного звена

Заметим, что в данном случае длительность переходного режима приблизительно равна  $3T_m$  при 5 %-ной «трубке» [1, 2]. Если же считать за время окончания переходного режима момент достижения установившегося значения с 1 %-ной точностью, то длительность переходного режима составит  $5T_m$ .

Из графиков рис. 1.3 можно сделать следующий вывод: коэффициент передачи  $K$  определяет характер изменения выходной величины рассматриваемого звена в переходном и в установившемся режимах, а постоянная времени  $T_m$  только в переходном режиме.

Величину постоянной времени и коэффициента передачи можно определить графически, как показано на рис. 1.3. При этом чтобы вычислить коэффициент передачи, необходимо установившееся значение выходной величины разделить на амплитуду входного скачка.

Ещё раз заметим, что блок «усилитель-двигатель», как следует из выражения (1.5) и рис. 1.3, относится к классу типовых звеньев первого порядка, представляя собой инерционное звено.

**Влияние жёсткой обратной связи.** Обратной связью называется связь, которая осуществляет передачу сигнала с выхода звена на его вход. Если выходной сигнал обратной связи имеет составляющую, пропорциональную выходной величине охватываемого звена, то обратная связь называется жёсткой.

В рассматриваемом устройстве жёсткая обратная связь осуществляется с помощью тахогенератора Тг (см. рис. 1.1) и усилителя DA2, выходной сигнал  $u_{oc}(t)$  которого (при установке переключателя S1 в положение ЖОС) подается на вход сумматора (см. рис. 1.2), т.е. в этом случае

$$u_{oc}(t) = \beta \omega(t), \quad (1.6)$$

где  $\beta$  – глубина жесткой обратной связи, или общий коэффициент передачи цепи жесткой обратной связи (тахогенератора и усилителя DA2).

Если **сигнал обратной связи складывается со входным**, то связь называется **положительной**, если же **сигнал обратной связи вычитается из входного**, то связь будет **отрицательной**.

Для исследования влияния жёсткой обратной связи на свойства динамического звена подставим выражение (1.6) в уравнение (1.3) и приведём подобные члены. В результате получим

$$T_{\text{м}} \frac{d\omega(t)}{dt} + (1 \mp K\beta)\omega(t) = Ku_z(t).$$

Чтобы привести это выражение к тому же виду, что и уравнение (1.3), в котором коэффициент при  $\omega(t)$  равен единице, разделим все члены полученного выражения на величину  $(1 \mp K\beta)$ , т.е.

$$\frac{T_{\text{м}}}{(1 \mp K\beta)} \frac{d\omega(t)}{dt} + \omega(t) = \frac{K}{(1 \mp K\beta)} u_z(t). \quad (1.7)$$

Коэффициенты уравнения (1.7) при  $d\omega(t)/dt$  и  $u_z(t)$  являются соответственно постоянной времени  $T_{\text{зв.жос}}$  и коэффициентом передачи  $K_{\text{зв.жос}}$  звена с жесткой обратной связью.

Видно, что при положительной ЖОС

$$T_{\text{зв.жос}} = \frac{T_{\text{м}}}{1 - K\beta}, \quad K_{\text{зв.жос}} = \frac{K}{1 - K\beta}. \quad (1.8)$$

Следовательно, при **положительной жесткой обратной связи** (при условии, что  $K\beta < 1$ ) **увеличиваются и постоянная времени, и коэффициент передачи** исходного динамического звена.

При отрицательной ЖОС

$$T_{\text{зв.жос}} = \frac{T_{\text{м}}}{1 + K\beta}, \quad K_{\text{зв.жос}} = \frac{K}{1 + K\beta}. \quad (1.9)$$

Таким образом, **при отрицательной жесткой обратной связи уменьшаются и постоянная времени, и коэффициент передачи** исходного динамического звена.

Так как уравнения (1.3) и (1.7) по виду совпадают, то пока  $K\beta < 1$  реакция звена с ЖОС на ступенчатое воздействие  $u_z(t) = U_z 1(t)$  будет по форме совпадать с характеристикой, изображенной на рис. 1.3. В то же время, длительность переходного процесса и величина установившегося значения частоты вращения вала двигателя при ПОС будет больше, а при ООС меньше, чем у звена без обратной связи.

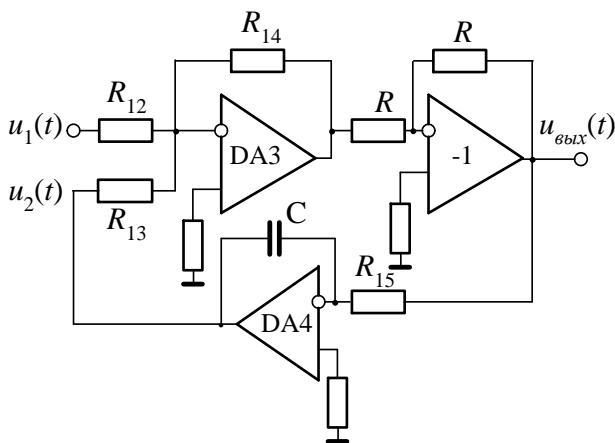
Подчеркнем, что характер реакции звена с положительной ЖОС резко меняется при  $K\beta \geq 1$ . В этом случае из-за того, что корень характеристического уравнения (1.7) является положительным, звено становится **неустойчивым** и выходная величина (в исследуемом звене – частота вращения вала двигателя) теоретически растёт до бесконечности. На практике она, конечно, ограничена максимально возможными оборотами двигателя. При этом говорят: «Двигатель идёт в разнос». Причем, самопроизвольный рост числа оборотов двигателя может начинаться и без подачи входного сигнала.

**Рекомендуется при проведении исследований звена выполнить моделирование и этого режима работы.**

**Влияние гибкой обратной связи.** Обратная связь называется **гибкой**, если **сигнал с выхода звена подаётся на его вход через дифференцирующее звено**. Гибкая обратная связь в установившемся режиме не действует, поэтому её ещё иногда называют исчезающей. Она формируется в схеме (см. рис. 1.1) с помощью дифференциатора, схема которого приведена на рис. 1.4.

Уравнения этих элементов можно записать следующим образом:

$$u_{6bIX}(t) = -\left(-u_1(t)\frac{R_{14}}{R_{12}} - u_2(t)\frac{R_{14}}{R_{13}}\right), \quad u_2(t) = -\frac{1}{CR_{15}} \int_0^t u_{6bIX}(t) dt.$$

$$u_{\text{eblx}}(t) = \frac{R_{14}}{R_{12}} u_1(t) - \frac{R_{14}}{R_{13}} \frac{1}{CR_{15}} \int_0^t u_{\text{eblx}}(t) dt. \quad (1.10)$$


Дифференцируя затем равенство (1.10) по времени получим уравнение, которое описывает процессы, протекающие в схеме дифференциатора:

$$\frac{du_{\text{blx}}(t)}{dt} + \frac{R_{14}}{R_{13}} \frac{1}{CR_{15}} u_{\text{blx}}(t) = \frac{R_{14}}{R_{12}} \frac{du_1(t)}{dt}$$

$$\alpha_2 T_{du\phi} \frac{du_{\text{bIX}}(t)}{dt} + u_{\text{bIX}}(t) = \alpha_1 T_{du\phi} \frac{du_1(t)}{dt}, \quad (1.11)$$

Применяя преобразование Лапласа к дифференциальному уравнению (1.11) при нулевых начальных условиях, получим передаточную функцию схемы, приведённой на рис. 1.4:

$$W_{\partial\phi}(p) = \frac{U_{\partial\phi}(p)}{U_1(p)} \Big|_{HHV} = \frac{\alpha_1 T_{\partial\phi}}{\alpha_2 T_{\partial\phi} p + 1}. \quad (1.12)$$

Получить идеальное дифференцирование можно для низкочастотных сигналов, если выбрать параметры передаточной функции (1.12) так, чтобы  $\alpha_2 \ll \alpha_1$ , что возможно при большом коэффициенте усилителя **DA3** и  $R_{14} \gg R_{12}$ . В этом случае величина  $\alpha_2 T_{out} p$



будет влиять лишь на очень высоких частотах и, следовательно, в случае низкочастотных сигналов этим влиянием можно пренебречь. Тогда сигнал гибкой обратной связи на схеме, приведённой на рис. 1.1, будет описываться уравнением

$$u_{\text{ГOC}}(t) = \beta \frac{d\omega(t)}{dt}, \quad (1.13)$$

где  $\beta$  – общий коэффициент передачи в цепи гибкой обратной связи, состоящий из коэффициентов тахогенератора  $T_{\text{г}}$ , дифференциатора  $\alpha_1$  и усилителя **DA2**.

Подставляя выражение (1.13) в уравнение (1.3), получим уравнение блока «усилитель-двигатель», охваченного гибкой обратной связью, что соответствует положению «ГОС» переключателя **S1** на схеме рис. 1.1:

$$(T_{\text{м}} \mp K\beta) \frac{d\omega(t)}{dt} + \omega(t) = Ku_3(t). \quad (1.14)$$

Уравнение (1.14) по виду также совпадает с (1.2). Поэтому реакция  $\omega(t)$  звена с ГОС по форме также будет совпадать с графиком, приведённым на рис. 1.3. При этом установившееся значение  $\omega(t)$  **останется таким же**, как и при отсутствии ГОС. Длительность же переходного процесса **увеличится при отрицательной ГОС и уменьшится при положительной ГОС**.

Следует отметить, что наблюдаемый на экране осциллографа или монитора переходный процесс звена, охваченного ГОС, может отличаться от изображенного на рис. 1.3. Это обусловлено тем, что идеальное дифференцирование, как отмечалось выше, физически неосуществимо. Особенно заметным отличие реакции звена  $\omega(t)$  от приведённой на рис. 1.3 может быть при исследовании звена с положительной ГОС на стенде. Более того, при  $K\beta \geq T_{\text{м}}$  звено с положительной ГОС, как и звено с положительной ЖОС, может стать неустойчивым [2].

Отсюда следует, что **гибкая обратная связь влияет только на постоянную времени звена, причём при положительной ГОС**

$$T_{\text{зГОС}} = T_{\text{м}} - K\beta, \quad (1.15)$$

т.е. **постоянная времени звена, охваченного положительной ГОС (при условии  $K\beta < T_{\text{м}}$ ), меньше**, чем без обратной связи.

При **отрицательной ГОС**

$$T_{\text{зГОС}} = T_{\text{м}} + K\beta, \quad (1.16)$$

т.е. **постоянная времени звена с отрицательной ГОС больше**, чем без обратной связи. На коэффициент передачи звена, как видно из уравнения (1.14), ГОС не влияет.

В случае моделирования непрерывных звеньев с монотонными переходными процессами на ПЭВМ колебательный характер переходного процесса может возникнуть, если неправильно выбран шаг дискретности по времени. Это часто имеет место в любых программных пакетах, в том числе и в пакете MATLAB.

Поэтому при моделировании непрерывных звеньев на ПЭВМ интервал квантования (или погрешность интегрирования) нужно всегда уменьшать до тех пор, пока характер временных процессов не будет изменяться под влиянием этих уменьшений.

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

## **3.2 Практическое занятие №5,6,7,8 ( 4 часа).**

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

### 3.2.1 Задание для работы:

1. Изучить динамические характеристики измерительных преобразователей

### 3.2.2 Краткое описание проводимого занятия:

Для моделирования блока «усилитель-двигатель» (см. рис. 1.1) без обратной связи его схема представляется, как показано на рис. 1.5. В процессе моделирования не используется генератор  $G$  с нагрузочным резистором  $R_n$ , поэтому на рис. 1.5 отсутствует момент нагрузки  $M_c$  (в отличие от схемы на рис. 1.2). Коэффициент передачи двигателя по напряжению  $K_{du}$  равен  $1,4 \text{ рад/с} \times B$ ; его электромеханическая постоянная времени  $T_m = 0,5 \text{ с}$ . Коэффициент усиления усилителя  $K_y = 20$ . Величина напряжения  $U_3$  подбирается такой, чтобы установившееся значение выходной величины  $\omega(t)$  было равно примерно  $28 \text{ рад/с}$ . Это значение напряжения принимается в качестве модели единичной ступенчатой функции  $1(t)$ .

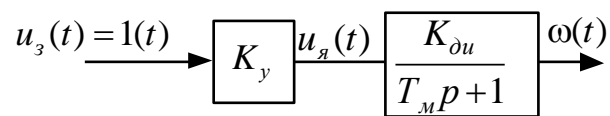


Рис. 1.5. Структурная схема звена «усилитель-двигатель» без ОС

При исследовании звена «усилитель-двигатель» без обратных связей в пакете программ Simulink схема его модели имеет вид, приведённый на рис. 1.6.

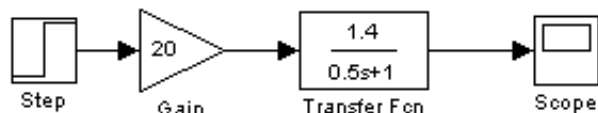


Рис. 1.6. Схема модели звена без обратной связи в Simulink

На вход модели звена, согласно рис. 1.5, подаётся единичное ступенчатое воздействие  $u_3(t) = 1(t)$  – «Step»; к выходу модели подключается осциллограф – «Scope».

После набора модели и установления времени наблюдения  $(5 - 8)T_z$  двойной щелчок на осциллографе вызывает на экран монитора график переходной функции, приведенный на рис. 1.7.

По этой кривой следует графически, как показано на рис. 1.3, определить постоянную времени и коэффициент усиления моделируемого звена. Сравнить полученные значения с расчетными и сделать вывод о качестве моделирования непрерывных динамических звеньев с помощью пакета Simulink

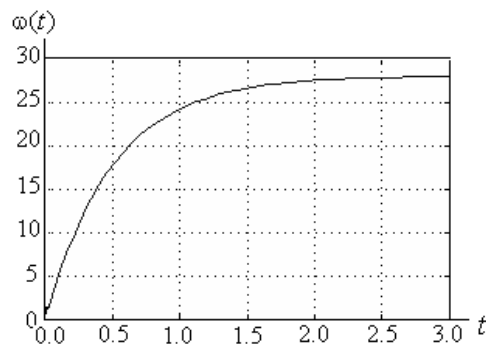


Рис. 1.7. Переходная функция звена без ОС

### Исследование звена с жёсткой обратной связью

Примем коэффициент передачи тахогенератора  $K_{тг}$  равным 0,1 (рис. 1.1). Коэффициент усиления  $K_{y2}$  второго усилителя выбирается таким, чтобы при отрицательной ЖОС установившееся значение выходной величины  $\omega(t)$  находилось в пределах 20 – 23 рад/с. При положительной ЖОС этот коэффициент должен быть таким, чтобы установившееся значение  $\omega(t)$  не превышало 40 рад/с. Пусть  $K_{y2} = 0,13$ .

Произведение  $K_{тг} K_{y2}$  представляет собой общий коэффициент передачи цепи обратной связи  $\beta$ . Схема набора в Simulink модели исследуемого звена с жесткой обратной связью приведена на рис. 1.8.

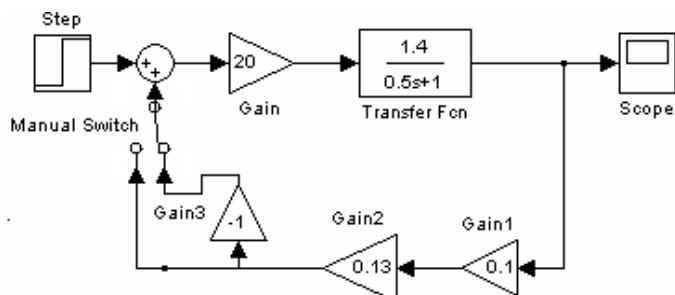


Рис. 1.8. Схема модели звена с жесткой ОС

Двойным щелчком левой кнопкой мыши по ключу ManualSwitch можно изменить знак обратной связи.

### Исследование звена с гибкой обратной связью

Схема модели звена с гибкой обратной связью в Simulink показана на рис. 1.9.

Двойным щелчком на модели ключа можно изменить знак обратной связи и снять соответствующие характеристики.

Обращаем **ваше внимание** на то, что время наблюде-

ния в эксперименте с положительной ОС должно быть уменьшено, т.е. повышена точность моделирования до  $10^{-5}$ , так как в этом случае схема является более быстродействующей, чем предыдущие.

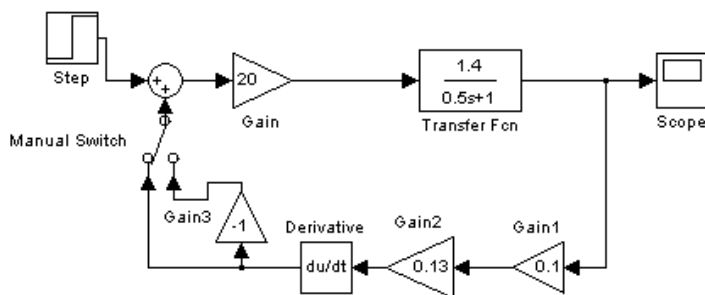


Рис. 1.9. Схема модели звена с гибкой обратной связью

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

## 3.3 Практическое занятие №9,10,11,12,13 ( 10 часов).

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

### 3.3.1 Задание для работы:

1. Изучить статические и динамические характеристики измерительных преобразователей

### 3.3.2 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 (**М**), генератор (**Г**), 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<sub>н</sub>**, 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  $u_{зад}$  и усиление их разности.

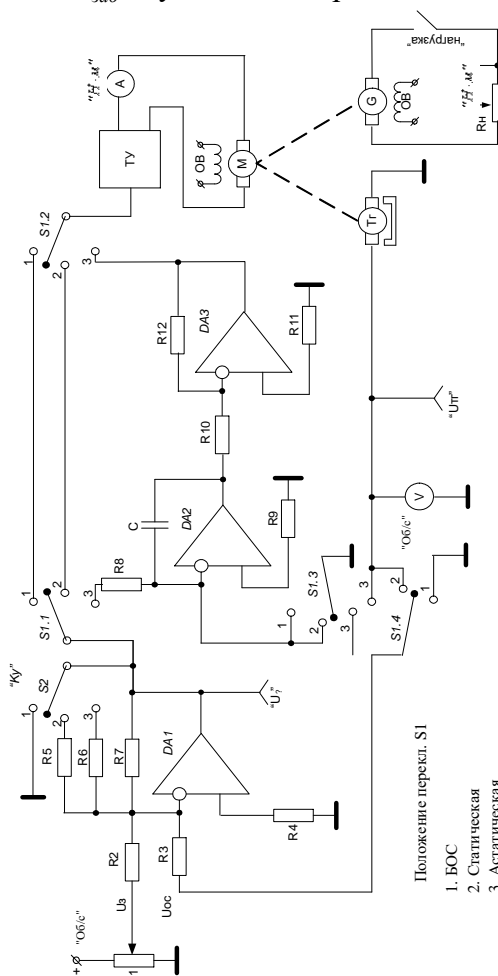


Рис. 2.1. Функциональная схема исследуемой системы

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  $u_{зад} = u_{зад}(t)$  – 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 рассогласования)  $\varepsilon(t) = u_{зад}(t) - u_{oc}(t)$ , и клемму "Uтг", 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").

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

#### **3.4 Практическое занятие №14,15,16,17 ( 8 часов).**

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

##### **3.4.1 Задание для работы:**

1. Изучить конструкцию и принципы работы датчиков

##### **3.4.2 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 определённых 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 М.

Величина статической ошибки  $\delta_{cmg} = C_{0g} g_0 \neq 0$  обратно пропорциональна коэффициенту передачи  $K_p = K_y K_{du}$  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  $g(t) = g_0 1(t)$ , 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).

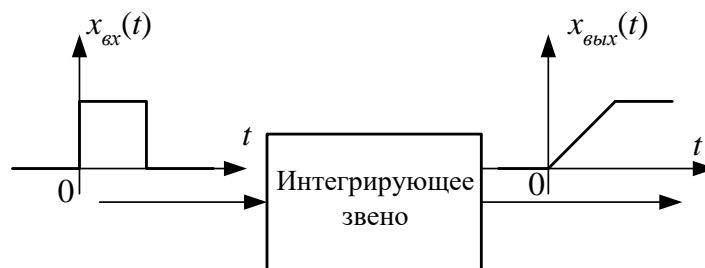


Рис. 2.2. Сигналы интегрирующего звена

**Классификационным** признаком статических систем является порядок астатизма –  $\nu$ .

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

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

и не равна нулю, если  $g(t) = g_0 + g_1 t + \dots + g_{\nu-1} t^{\nu-1} + g_\nu t^\nu$ . Здесь  $g_i, i = \overline{1, \nu}$  – также постоянные коэффициенты, причем  $g_{\nu-1} \neq 0$  и  $g_\nu \neq 0$ , 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  $\nu$  по отношению к тому или иному воздействию, скажем,  $g(t)$ , является *наличие  $\nu$  нулевых корней у полиномачислителя передаточной функции по ошибке по этому воздействию*, т.е.

$$W_{\varepsilon g}(p) = \frac{p^\nu B(p)}{D(p)}, \quad (2.4)$$

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

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

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

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

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

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

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

Чтобы воспользоваться последним из указанных признаков астатизма  $\nu$ -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.

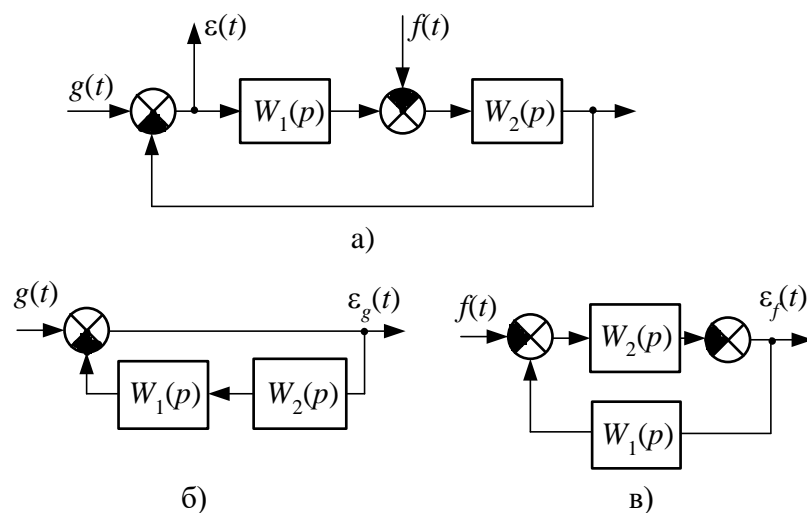


Рис. 2.3. Преобразование структурной схемы системы

Следует подчеркнуть, что чем выше порядок астатизма системы, тем, как правило, труднее сделать такую систему устойчивой, с малым перерегулированием и малым временем переходных процессов. Особенно 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).

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

### 3.5 Практическое занятие №9 ( 2 часа).

**Тема: «Изучение конструкции исполнительных устройств»**

#### 3.5.1 Задание для работы:

1. Изучить конструкцию исполнительных устройств

#### 3.5.2 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 **ДА1** и тиристорный усилитель мощности **ТУ** объединены и описаны одним пропорциональным звеном с коэффициентом усиления  $K_y$ ; входная цепь усилителя **ДА1** представлена первым сумматором, а остальные блоки описывают двигатель. Отметим, что он описывается здесь более точно, чем в предыдущих работах, т.е. с учётом  $T_\gamma$  – 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, изображённую на рис. 2.4, в двух режимах работы:



а) момент сопротивления  $M_c$  отсутствует, а задающее воздействие  $g(t)$  представляет 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  $\tau_m$ .

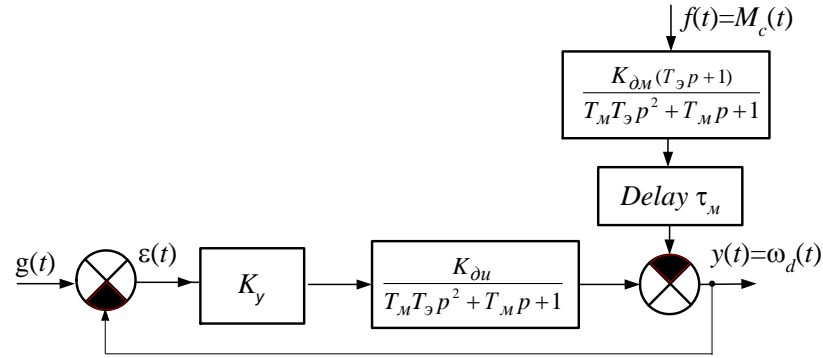


Рис. 2.4. Структурная схема статической системы

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

$$W_p(p) = \frac{K_y K_{\partial u}}{T_m T_{\partial} p^2 + T_m p + 1}. \quad (2.6)$$

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

$$W_{\varepsilon g}(p) = \frac{1}{1 + W_p(p)} = \frac{T_m T_{\partial} p^2 + T_m p + 1}{T_m T_{\partial} p^2 + T_m p + K_y K_{\partial u} + 1}. \quad (2.7)$$

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

$$\delta_{cmg} = \lim_{p \rightarrow 0} p W_{\varepsilon g}(p) g(p). \quad (2.8)$$

В нашем случае с учётом выражения (2.7) имеем

$$\delta_{cmg} = \lim_{p \rightarrow 0} p \frac{T_m T_{\partial} p^2 + T_m p + 1}{T_m T_{\partial} p^2 + T_m p + K_y K_{\partial u} + 1} \cdot \frac{g_0}{p} = \frac{1}{1 + K_y K_{\partial u}} g_0. \quad (2.9)$$

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

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

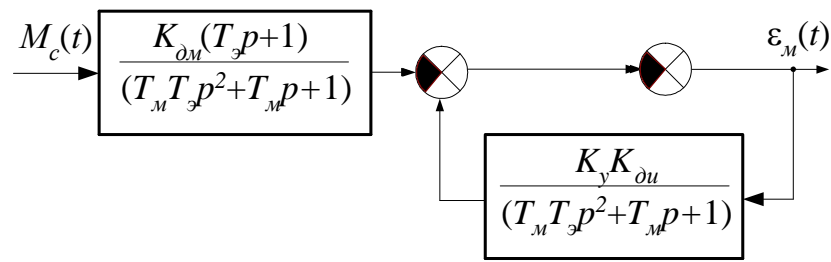


Рис. 2.5. Преобразованная структурная схема статической системы

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

$$W_{\epsilon, M}(p) = \frac{K_{\partial m}(T_{\partial}p + 1)}{T_m T_{\partial}p^2 + T_m p + K_{\partial u} K_y + 1}.$$

Воспользовавшись выражением (2.8) для данного случая при  $M_c(t) = M_0 1(t - \tau_m)$ , получим

$$\delta_{ст, M} = \lim_{p \rightarrow 0} p \frac{K_{\partial m}(T_{\partial}p + 1)}{T_m T_{\partial}p^2 + T_m p + K_{\partial u} K_y + 1} \cdot \frac{M_{c0}}{p} = \frac{K_{\partial m}}{1 + K_y K_{\partial u}} M_{c0}. \quad (2.10)$$

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

$$\delta_{ст} = \delta_{cmg} + \delta_{ст, M} = \frac{1}{1 + K_y K_{\partial u}} g_0 + \frac{K_{\partial m}}{1 + K_y K_{\partial u}} M_0. \quad (2.11)$$

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

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

### 3.6 Практическое занятие №10 ( 2 часа).

**Тема:** «Изучение принципа работы исполнительных устройств»

#### 3.6.1 Задание для работы:

1. Изучить принцип работы исполнительных устройств

#### 3.6.2 Краткое описание проводимого занятия:

Структурная схема астатической системы в рассматриваемом случае (согласно рис. 2.1) имеет вид, показанный на рис. 2.6. Основным отличием астатической системы от статической (см. рис. 2.4) является наличие в прямой цепи астатической системы «чистого» интегратора, т.е. в рассматриваемой системе условие астатизма обеспечивается структурно – введением интегратора.

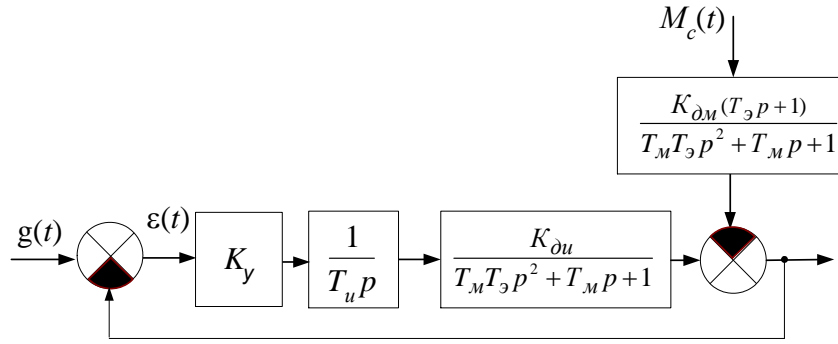


Рис. 2.6. Структурная схема астатической системы

Определим ошибку астатической системы, также пользуясь принципом суперпозиции. Пусть сначала  $g(t) = g_0 1(t)$ , а  $M_c = 0$ . Тогда для системы, структурная схема которой изображена на рис. 2.6, имеем при  $T_u=1$  [1, 2]:

$$W_p(p) = \frac{K_y K_{du}}{(T_m T_3 p^2 + T_m p + 1)p},$$

$$W_{\varepsilon g}(p) = \frac{1}{1 + W_p(p)} = \frac{p(T_m T_3 p^2 + T_m p + 1)}{T_m T_3 p^3 + T_m p^2 + p + K_y K_{du}}. \quad (2.12)$$

Определяя статическую ошибку по задающему воздействию в соответствии с выражениями (2.8) и (2.12), получим

$$\delta_{cm,g} = \lim_{p \rightarrow 0} p \frac{p(T_m T_3 p^2 + T_m p + 1)}{T_m T_3 p^3 + T_m p^2 + p + K_y K_{du}} \cdot \frac{g_0}{p} = 0. \quad (2.13)$$

Для удобства определения ошибки по моменту, как и выше, преобразуем структурную схему астатической системы (рис. 2.6) при  $g(t) = 0$  к виду, показанному на рис. 2.7.

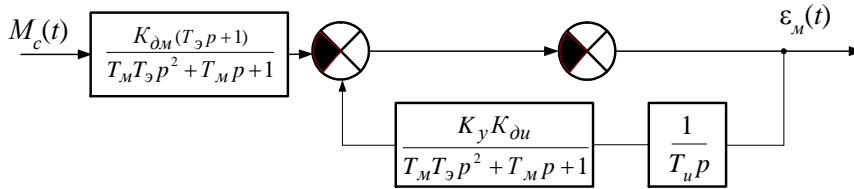


Рис. 2.7. Преобразованная

структурная схема  
астатической системы

Применяя к схеме на рис. 2.7 те же формулы, что и выше, и полагая  $T_u=1$ , получим

$$W_{\varepsilon m}(p) = \frac{K_m (T_3 p + 1)p}{T_m T_3 p^3 + T_m p^2 + p + K_y K_{du}}.$$

Пользуясь этим выражением, найдем ошибку системы, вызванную постоянным моментом  $M_c(t) = M_{c0} 1(t)$ :

$$\delta_{cm,m} = \lim_{p \rightarrow 0} p M_c(p) W_{\varepsilon m}(p) =$$

$$= \lim_{p \rightarrow 0} p \frac{K_m (T_3 p + 1)p}{T_m T_3 p^3 + T_m p^2 + p + K_y K_{du}} \cdot \frac{1}{p} \cdot M_{c0} = 0. \quad (2.14)$$

Таким образом, система с интегратором, структурная схема которой показана на рис. 2.6, действительно является астатической и по задающему воздействию  $g(t)$ , и по возмущению  $f(t) = M_c(t)$ .

Напомним, что выражения (2.13), (2.14) определяют структурные ошибки рассматриваемой системы управления. В реальной системе нулевое значение ошибки практически недостижимо из-за погрешностей, обусловленных нелинейностями характеристик таких функциональных элементов, входящих в состав рассматриваемой САУ, как сравнивающее устройство, датчик скорости и т.п.

**3.6.3. Результаты и выводы:** в ходе работы был изучен принцип работы исполнительных устройств

### 3.7 Практическое занятие №11 ( 2 часа).

**Тема: «Изучение конструкции исполнительных устройств»**

#### 3.7.1 Задание для работы:

1. Изучить конструкцию исполнительных устройств

#### 3.7.2 Краткое описание проводимого занятия:

На рис. 3.1 представлена замкнутая локальная система нижнего уровня иерархической структуры управления некоторым производственным процессом.

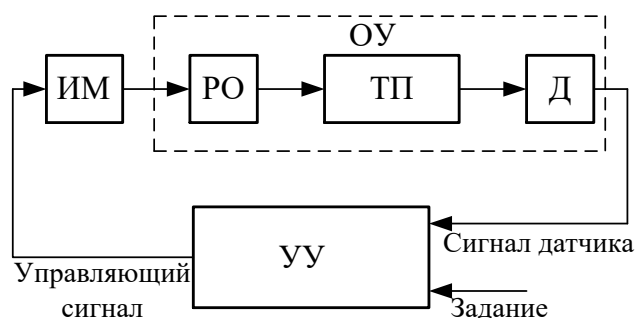


Рис. 3.1. Структура локальной системы управления

На этом рисунке введены следующие обозначения: ИМ– исполнительный механизм, РО – регулирующий орган, Д – датчик регулируемой переменной, ТП – технологический процесс, УУ – управляющее устройство, вырабатывающее сигнал управления в соответствии с заданным или выбранным алгоритмом. РО, ТП и Д объединены в объект управления ОУ.

Передаточная функция ОУ очень часто может быть представлена в виде

$$W_{\text{оу}}(p) = \frac{K_o}{(T_{\text{оу}}p + 1)} e^{-p\tau_{\text{оу}}} \quad (3.1)$$

при  $K_o = K_{\text{оу}} K_{\text{им}} K_{\text{дат}}$ .

Наличие транспортного **запаздывания**  $\tau_{\text{оу}}$  в (3.1) объясняется тем, что оно присутствует во многих ТП таких, как процессы нагрева, сушки, абсорбции и т.п. Входным управляющим воздействием указанных ТП является расход того или иного вида топлива, вещества, сырья или их компонент, которые подаются на объект через регулирующие органы РО (клапаны, заслонки) с помощью исполнительных механизмов ИМ. Для измерения регулируемой переменной используют датчики Д, состоящие из чувствительного (измерительного) элемента и преобразователя измеряемой величины в ток, напряжение и т.п.

Параметры передаточной функции (3.1) такие, как коэффициент передачи объекта управления  $K_{\text{оу}}$ , постоянная времени  $T_{\text{оу}}$  и величина транспортного запаздывания  $\tau_{\text{оу}}$ , в большинстве случаев определяются известными методами идентификации на основе

экспериментальных данных [1], величины  $K_{им}$  и  $K_{дат}$  определяются по паспортным данным этих устройств.

Вид передаточной функции управляющего устройства УУ определяется алгоритмом его работы. В современных производственных системах широко используются программные методы управления технологическими объектами с применением развитой сети контроллеров и персональных компьютеров (ПК). В частности, в системах локальной автоматики применение контроллеров для целей стабилизации даёт возможность использовать алгоритмы управления повышенной сложности. Поэтому далее будет рассматриваться именно этот вариант построения устройства управления, т.е. цифровое устройство управления (ЦУУ).

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

### 3.8 Практическое занятие №12 ( 2 часа).

**Тема: «Изучение принципов работы исполнительных устройств»**

#### 3.8.1 Задание для работы:

1. Изучить принципы работы исполнительных устройств

#### 3.8.2 Краткое описание проводимого занятия:

Данные, обрабатываемые цифровым управляющим устройством (рис. 3.2), предварительно квантуются по времени с шагом  $T_0$  и преобразуются в цифровую форму с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Оцифрованные входные данные обрабатываются по запрограммированным в арифметико-логическом устройстве (АЛУ) ЦУУ алгоритмам, в результате чего формируется цифровой код  $\bar{u}_i$ .

Если исполнительный механизм имеет аналоговый вход, то код управления поступает в цифроаналоговый преобразователь (ЦАП), на выходе которого имеется фиксатор –  $\Phi$  (экстраполятор нулевого или первого порядка). Поскольку АЛУ, АЦП и ЦАП имеют разрядные сетки ограниченной длины, то все сигналы оказываются квантованными не только по времени, но и по уровню. Квантование по уровню можно учесть как дополнительную шумовую погрешность  $\vartheta(t)$ .

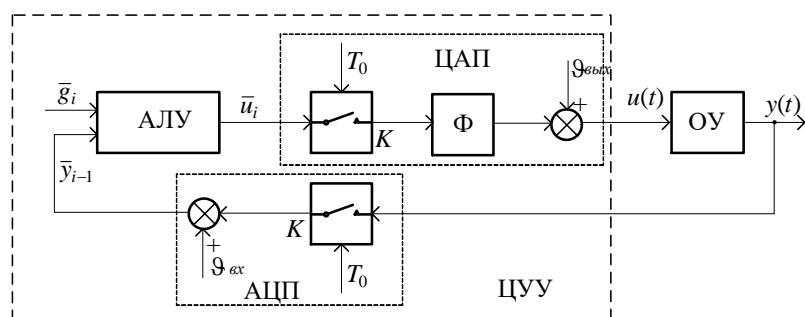


Рис. 3.2. Структура замкнутого контура ЦАС с учетом процедур квантования

На рис. 3.2, помимо указанных выше обозначений, введены также:  $K$  – ключ, отражающий процессы квантования по времени в ЦУУ,  $\bar{g}_i$ ,  $\bar{u}_i$ ,  $\bar{y}_{i-1}$  – цифровые коды задания, управления и выходной координаты соответственно. Задержка на шаг  $T_0$  переменной  $\bar{y}_{i-1}$  на входе АЛУ связана с конечным временем преобразований в АЦП, ЦАП и вычислений в АЛУ (см. рис. 3.2). Этим запаздыванием можно пренебречь, если в

передаточной функции ОУ присутствует существенное транспортное запаздывание  $\tau_{oy} = mT_0$ , причем  $m > 1$  – целое положительное число.

Поскольку вычисление производных и интегралов в цифровых устройствах осуществляется численными методами, то код управления  $\bar{u}_i$  на выходе АЛУ (см. рис. 3.2) можно представить в виде некоторой решетчатой функции. При этом вычисление первой производной рекомендуется [4] выполнять с помощью ряда

$$\dot{\varepsilon}_i = \frac{1}{T_0} \left\{ \Delta \varepsilon_i + \frac{1}{2} \Delta^2 \varepsilon_i + \frac{1}{3} \Delta^3 \varepsilon_i + \dots \right\}, \quad (3.2)$$

$$\text{где } \Delta \varepsilon_i = \varepsilon_i - \varepsilon_{i-1}, \Delta^2 \varepsilon_i = \varepsilon_i - 2\varepsilon_{i-1} + \varepsilon_{i-2}, \dots \quad (3.3)$$

Если в выражении (3.2) использовать одно слагаемое, то получим широко распространенную формулу нахождения производной по первой конечной разности:

$$\dot{\varepsilon}_i = \frac{1}{T_0} \Delta \varepsilon_i = \frac{\varepsilon_i - \varepsilon_{i-1}}{T_0}.$$

Однако во время переходных процессов, когда в регулируемой переменной ОУ присутствуют старшие производные, целесообразно брать большее количество слагаемых ряда (3.2). В частности, в системах управления ТП с медленно изменяющимися переменными можно брать 2 первых слагаемых ряда (3.2). Тогда после подстановки (3.3) в (3.2) формула вычисления первой производной будет иметь вид

$$\dot{\varepsilon}_i = \frac{1}{T_0} \left( \frac{3}{2} \varepsilon_i - 2\varepsilon_{i-1} + \frac{1}{2} \varepsilon_{i-2} \right). \quad (3.4)$$

Вычисление интеграла в АЛУ обычно выполняется по формулам численного интегрирования либо нулевого порядка (по формуле **прямоугольников**):

$$u_{интi} = u_{интi-1} + \frac{T_0}{T_u} \varepsilon_i \quad (3.5)$$

или

$$u_{интi} = u_{интi-1} + \frac{T_0}{T_u} \varepsilon_{i-1}, \quad (3.6)$$

либо первого порядка (по формуле **трапеций**):

$$u_{интi} = u_{интi-1} + \frac{T_0}{T_u} \cdot \frac{\varepsilon_{i-1} + \varepsilon_i}{2}. \quad (3.7)$$

Формулы (3.5) и (3.6) используются обычно при незначительных изменениях переменных и малом шаге дискретности  $T_0$ . Поскольку в переходных процессах, как уже было сказано, скорости изменения переменных могут быть существенными, то рекомендуется вычисление интеграла производить с использованием формулы трапеций (3.7).

С учетом сказанного, алгоритм вычисления кода управляющего воздействия по наиболее распространенному **пропорционально-интегрально-дифференциальному (ПИД)** закону управления можно представить в виде системы приведённых ниже разностных уравнений (3.8).

Если в этой системе положить равными нулю отдельные параметры настройки, то можно получить:

- пропорциональный (П) закон управления при  $u_{1i} \neq 0$ ,  $u_{2i} \equiv 0$ ,  $u_{3i} \equiv 0$ ;
- интегральный (И) закон управления при  $u_{1i} \equiv 0$ ,  $u_{2i} \neq 0$ ,  $u_{3i} \equiv 0$ ;
- пропорционально-интегральный (ПИ) закон управления при  $u_{1i} \neq 0$ ,  $u_{2i} \neq 0$ ,  $u_{3i} \equiv 0$ ;

· пропорционально-дифференциальный (ПД) закон управления при  $u_{1i} \neq 0$ ,  $u_{2i} \equiv 0$ ,  $u_{3i} \neq 0$  и т.д.

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_i &= g_i - y_{i-1}, \\ u_{1i} &= K_{pez} \varepsilon_i, \\ u_{2i} &= u_{2(i-1)} + \frac{K_{pez} T_0}{2T_u} (\varepsilon_i + \varepsilon_{i-1}), \\ u_{3i} &= K_{pez} \frac{T_{диф}}{T_0} \left( \frac{3}{2} \varepsilon_i - 2\varepsilon_{i-1} + \frac{1}{2} \varepsilon_{i-2} \right), \\ u_i &= u_{1i} + u_{2i} + u_{3i} \text{ при} \\ y_0 &= 0, u_{2(0)} = 0, \varepsilon_{-1} = \varepsilon_0 = 0. \end{aligned} \right\} \quad (3.8)$$

где  $K_{pez}$ ,  $T_u$ ,  $T_{диф}$  – параметры настройки,  $T_0$  – шаг квантования по времени (шаг дискретности).

В табл. 3.1 приведены формулы для расчета параметров настройки регуляторов с указанными типами непрерывных законов управления, взятые из источника [1].

Таблица 3.1 - Типы регуляторов

Применяемый Регулятор	Предполагаемый переходный процесс
	Апериодический с перерегулированием $\approx 20\%$
П-регулятор	$K_{pez} = 0,3T_{oy} / K_0 \tau_{oy}$
ПИ-регулятор	$K_{pez} = 0,6T_{oy} / K_0 \tau_{oy}$ ; $T_u = 0,6T_{oy}$
ПИД-регулятор	$K_{pez} = 0,95T_{oy} / K_0 \tau_{oy}$ , $T_u = 2,4\tau_{oy}$ , $T_{диф} = 0,4\tau_{oy}$

В системе разностных уравнений (3.8) не учитывается квантование по уровню, так как при достаточной длине разрядной сетки цифровых устройств им можно пренебречь. Дискретность же сигналов по времени приводит к тому, что некоторые коэффициенты зависят от значения шага дискретности по времени  $T_0$ . По этой причине при определенных значениях  $T_0$  ЦАС может стать неустойчивой.

**3.8.3. Результаты и выводы:** в ходе работы был изучен принцип работы исполнительных устройств

### 3.9 Практическое занятие №13 ( 2 часа).

**Тема: «Изучение конструкции и принципов работы исполнительных устройств»**

#### 3.9.1 Задание для работы:

1. Изучить конструкцию и принципы работы исполнительных устройств

#### 3.9.2 Краткое описание проводимого занятия:

Указанную задачу можно решить несколькими способами: по одному из алгебраических критериев, по частотным критериям устойчивости [2, 3, 5] или в процессе моделирования замкнутой ЦАС в пакете SimulinkforWindows системы MATLAB. Однако в связи с наличием в ОУ транспортного запаздывания решение задачи первыми двумя путями оказывается очень громоздким из-за высокого порядка характеристического уравнения замкнутой ЦАС.

Поэтому в лабораторной работе предлагается выбирать необходимый шаг дискретности  $T_0$  путем моделирования. В качестве эталона, к которому следует стремиться, выбирая значение  $T_0$ , рекомендуется использовать процессы в модели

непрерывной системы управления заданным объектом, структурная схема которой представлена на рис. 3.3.

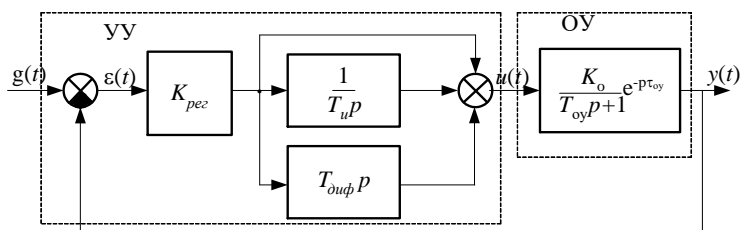


Рис. 3.3. Структурная схема непрерывной системы управления

**3.9.3. Результаты и выводы:** в ходе работы был изучен принцип работы и конструкция исполнительных устройств

### 3.10 Практическое занятие №14 ( 2 часа).

**Тема: «Изучение устройств связи с объектом управления»**

#### 3.10.1 Задание для работы:

1. Изучить устройства связи с объектом управления

#### 3.10.2 Краткое описание проводимого занятия:

1. В соответствии с данными табл. 3.2 *для своего варианта* выполнить расчет параметров настройки непрерывногоуправляющего устройства:

1) Получить в пакете Simulink системы MATLAB графики таких переменных эталонной модели (рис. 3.3), как сигнал рассогласования  $\varepsilon(t)$ , управляющее воздействие  $u(t)$  и регулируемая переменная  $y(t)$ .

Таблица 3.2

Объекты управления					
Вариант	ОУ и канал регулирования	Значение $K_o$	Значение $T_{oy}, c$	Значение $\tau_{oy}, c$	Закон регулирования
1	<b>Парогенератор:</b> Расход воды на впрыск – температура перегретого пара	1,46	120	20	ПИД
2					ПИ
3	<b>Теплица:</b> Расход воды на обогрев – температура воздуха	20	1000	60	ПИ
4					ПИД
5	<b>Теплица:</b> Расход воды на распыление – влажность воздуха	60	800	20	ПИ
6					ПИД
7	<b>Турбина:</b> Положение регулирующего клапана – частота вращения	4,5	110	17	ПИД
8					ПИ
9	<b>Смеситель 1:</b> Расход потока	1,25	50	5	ПИ



10	$F_1$ – концентрация выходного потока $C_0$				ПИ Д
11	<b>Смеситель 2:</b> Расход холодной воды – температура смеси	4	100	12	ПИ
12					ПИ Д
13	<b>Генератор переменного тока:</b> Напряжение на выходе – ток возбуждения	10	0,15	0,03	ПИ
14					ПИ Д
15	<b>Сушка:</b> Температура на выходе топки – расход топлива	20	10	3	ПИ
16					ПИ Д
17	<b>Сушка:</b> Влажность сухого жома – расход топлива	40	750	50	ПИ Д
18					ПИ
19	<b>Парогенератор:</b> Расход топлива – давление перегретого пара	2,5	400	120	ПИ Д
20					ПИ

2) Определить длительность переходного процесса, перерегулирование, а также ошибки отработки скачка  $g_1(t) = g_0 l(t)$  и линейного сигнала  $g_2(t) = v_{g2} t \cdot l(t)$  для значений  $g_0$ ,  $v_{g2}$ , взятых из табл. 3.3. Результаты представить в виде таблицы и графиков.

**Примечание.** Сигнал  $g_2(t)$  можно моделировать с помощью последовательного соединения блоков «Step» и «Integrator», установив на первом блоке значение «final», равное  $v_{g2}$ , или же блоком «Ramp».

Таблица 3.3

Значения параметров																				
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$g_0$	8		6		5		3		9		7		2		4		10		1	
$v_{g_2}$	0,25		0,9		0,4		0,2		0,7		0,8		0,5		0,6		0,3		0,1	

2. Изменяя параметры настройки ЦУУ в модели, уменьшить перерегулирование до 5 %. Записать полученные значения и сравнить с расчётными. Представить графики  $\varepsilon(t)$ ,  $u(t)$  и  $y(t)$ . **Выводах** по этому эксперименту объяснить, как влияет каждый из параметров на длительность переходного процесса, величину перерегулирования и точность отработки заданных воздействий.

3. Получить дискретную передаточную функцию процедуры вычисления дифференциальной составляющей кода управляющего воздействия с использованием трех членов ряда (3.2). При этом необходимо применить следующее свойство Z-преобразования:

$$Z\{f_{i-m}\} = z^{-m} F(z),$$

где  $F(z)$  – Z-преобразование функции  $f_i$ .

**3.10.3. Результаты и выводы:** в ходе работы были изучены устройства связи с объектом управления

### 3.11 Практическое занятие №15 ( 2 часа).

**Тема: «Изучение характеристик передачи данных»**

#### 3.11.1 Задание для работы:

1. Изучить характеристики передачи данных

#### 3.11.2 Краткое описание проводимого занятия:

1. Собрать в пакете Simulink системы MATLAB схему модели цифровой автоматической системы.

Для набора модели ЦУУ использовать, помимо известных Вам по предыдущим лабораторным работам, следующие блоки из раздела Discrete:

«Discrete-TimeIntegrator» – дискретный интегратор,

«DiscreteTransferFcn» – дискретная передаточная функция, используемая для набора модели Z-преобразования разностного уравнения (3.9),

«Zero-OrderHold» – модель фиксатора нулевого порядка ЦАП,

«Quantizer» – модель АЦП (из раздела Discontinuities).

При этом для исследования и сравнения результатов экспериментов можно получить схемы моделей непрерывной и цифровой систем, показанные на рис. 3.4.

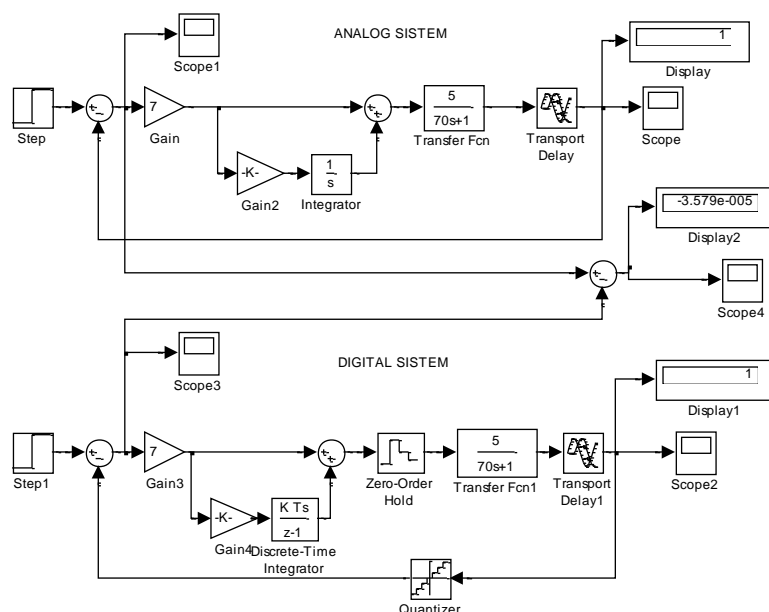


Рис. 3.4. Схемы моделей аналоговых и цифровых систем

На рис. 3.4 показаны дополнительные блоки «Display», которые рекомендуется использовать для регистрации значений измеряемых координат. Значения измеряемых величин на блоках «Display» будет соответствовать времени  $t$  равному времени наблюдения, которое устанавливается при настройке параметров процесса моделирования.

**Примечание.** Для настройки модели необходимо:

- а) В дискретном интеграторе установить метод интегрирования (Integrator method) – Trapezoidal.

б) Шаг дискретности, первоначальное значение которого определяется из соотношения  $T_0 = 0,02\tau_{oy}$ , необходимо устанавливать во всех блоках ЦУУ в позиции «Sampletime».

в) Разрядность в АЦП изменять, меняя величину кванта (цену младшего разряда). Величину кванта  $\Delta y$  рассчитывать, исходя из максимального значения координаты  $y(t)$ , поступающей на вход АЦП, и желаемой величины разрядности  $N$  :

$$\Delta y = \frac{y_{\max}}{2^N - 1}.$$

г) Оценку влияния шага дискретности  $T_0$  ЦАП на качество процесса регулирования выполнить, меняя значение «Sampletime» **только** в блоке Zero-OrderHold. В остальных блоках ЦУУ значение  $T_0$  установить равным  $T_0 = 0,02\tau_{oy}$ .

д) Для оценки **точности** различных систем измерять отклонение системы при  $t = t_{pn}$ , где  $t_{pn}$  – длительность переходного процесса в непрерывной системе (см. рис. 3.4).

2. Оценить влияние шага дискретности  $T_0$  (чем это отличается от пункта 1.г?) на **устойчивость** и **точность** обработки заданных сигналов (табл. 3.3) замкнутой ЦАС, выбрав 7 его значений в диапазоне  $(0.02 - 5)\tau_{oy}$ . Определить критическое значение  $T_{0крит}$ , при котором ЦАС становится неустойчивой. Результаты отразить графиками и сводной таблицей, в которой указать не только величину ошибки, но и длительность переходного процесса. Эксперимент завершить **выводами** по его результатам.

3. Выбрав значение  $T_0 = 0,02\tau_{oy}$ , проверить влиянием метода численного интегрирования, который определяется формулами (3.5) или (3.6) на качество процесса управления, для чего в блоке «Discrete-TimeIntegrator» установить соответствующий тип метода интегрирования (Integrator method). АЦП можно исключить, полагая величину кванта по уровню бесконечно малой.

Оценку производить после окончания переходного процесса в увеличенном масштабе. Эксперимент завершить **выводами** по его результатам.

4. Оценить, как влияет изменение частоты квантования (шага дискретности  $T_0$ ) ЦАП на работу ЦАС – её точность и устойчивость. Значение  $T_0 = 0,02\tau_{oy}$  во всех остальных блоках ЦУУ. При этом блок АЦП исключить из ЦАС, полагая шаг квантования по уровню бесконечно малой величиной. Результаты отразить графиками и сводной таблицей. Эксперимент завершить **выводами** по его результатам.

5. Определить влияние разрядности АЦП (диапазон изменения величины разрядов (2 – 16)) при обработке заданных сигналов (табл. 3.3), установив значение  $T_0 = 0,02\tau_{oy}$  во всех блоках ЦУУ. Результаты отразить графиками и сводной таблицей. Эксперимент завершить **выводами** по его результатам.

**3.11.3. Результаты и выводы:** в ходе работы были изучены характеристики передачи данных

### 3.12 Практическое занятие №16 ( 2 часа).

**Тема: «Изучение цифровых средств обработки информации в системах автоматизации и управления»**

#### 3.12.1 Задание для работы:

1. Изучить цифровые средства обработки информации в системах автоматизации и управления

#### 3.12.2 Краткое описание проводимого занятия:

1. Структурная схема непрерывной системы управления. Расчеты параметров настройки УУ и графики переменных  $\varepsilon(t)$ ,  $u(t)$  и  $y(t)$  при скачке и линейном сигнале.

2. Значения параметров непрерывного УУ при переходном процессе с 5 %-ным перерегулированием и графики переменных  $\varepsilon(t)$ ,  $u(t)$  и  $y(t)$  при скачке и при линейном сигнале.

3. **Вывод** о влиянии каждого из параметров настройки закона управления на длительность переходного процесса, величину перерегулирования и точность отработки заданных воздействий.

4. Дискретная передаточная функция процедуры вычисления дифференциальной составляющей кода управляющего воздействия по трем слагаемым ряда (3.2).

5. Результаты оценки влияния шага дискретности  $T_0$  на **устойчивость** замкнутой ЦАС (структурная схема модели ЦАС, графики и таблицы, **выводы**).

6. Результаты оценки влияния шага дискретности  $T_0$  на **точность** отработки заданных сигналов (табл. 3.3) замкнутой ЦАС (графики и таблицы, **выводы**).

7. Результаты оценки влияния метода численного интегрирования на качество процесса управления (графики и таблицы, **выводы**).

8. Результаты оценки влияния частоты квантования в ЦАП и величины разрядности АЦП на работу ЦАС (графики и таблицы, **выводы**).

**3.12.3. Результаты и выводы:** в ходе работы были изучены цифровые средства обработки информации в системах автоматизации и управления

### 3.13 Практическое занятие №17 ( 2 часа).

**Тема: «Изучение устройств связи с объектом управления и характеристики передачи данных»**

#### 3.13.1 Задание для работы:

1. Изучить устройства связи с объектом управления и характеристики передачи данных

#### 3.13.2 Краткое описание проводимого занятия:

1. Вывести разностное уравнение и определить передаточную функцию программы интегрирования дифференциального уравнения

$$\frac{1}{T_u} \frac{du(t)}{dt} = \varepsilon(t), \quad u(0) = 0 \quad (3.9)$$

по методу Эйлера.

1. Вывести разностное уравнение и определить передаточную функцию программы интегрирования дифференциального уравнения (3.9) по методу трапеций.

2. Вывести разностное уравнение и определить передаточную функцию программы интегрирования дифференциального уравнения (3.9) по методу средних прямоугольников:

$$u_{ui} = u_{u(i-1)} + \frac{T_0}{T_u} \varepsilon_i \left( \frac{t_{i-1} + t_i}{2} \right), \quad T_0 = t_i - t_{i-1} - \text{интервал (шаг) дискретности по времени.}$$

3. Вывести разностное уравнение и определить передаточную функцию программы вычисления производной при использовании 3-х слагаемых ряда (3.2).

4. Вывести разностное уравнение и определить передаточную функцию программы реализации изодромного звена, описываемого интегральным уравнением вида:

$$u(t) = K\varepsilon(t) + \frac{1}{T_u} \int_0^t \varepsilon(t) dt \quad (3.10)$$

с использованием метода трапеций.

7. Вывести разностное уравнение и определить передаточную функцию программы реализации изодромного звена, описываемого интегральным уравнением вида (3.10) с использованием метода средних прямоугольников (см. п. 4).

**3.13.3. Результаты и выводы:** в ходе работы были изучены устройства связи с объектом управления и характеристики передачи данных