

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Кафедра «Проектирование и управление в технических системах»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ  
ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Технические средства автоматизации и управления

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

**Профиль образовательной программы** *Системы и средства автоматизации технологических процессов*

**Форма обучения** *очная*

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>1. Конспект лекций.....</b>	<b>5</b>
<b>1.1 Лекция № 1 Предмет и значение дисциплины. ....</b>	<b>5</b>
<b>1.2 Лекция № 2 Типовые структуры и средства систем автоматизации и управления..</b>	<b>9</b>
<b>1.3 Лекция № 3 Назначение и состав технических средств систем автоматизации и управления .....</b>	<b>12</b>
<b>1.4 Лекция № 4 Технические средства информации.....</b>	<b>14</b>
<b>1.5 Лекция № 5 Технические средства получения информации о состоянии объекта управления .....</b>	<b>16</b>
<b>1.6 Лекция № 6 Технические средства получения информации о состоянии объекта управления.....</b>	<b>23</b>
<b>1.7 Лекция № 7 Общие характеристики исполнительных устройств.....</b>	<b>27</b>
<b>1.8 Лекция № 8 Исполнительные устройства: электрические серводвигатели, гидравлические двигатели .....</b>	<b>28</b>
<b>1.9 Лекция № 9 Классификация режимов работы устройств .....</b>	<b>31</b>
<b>1.10 Лекция № 10 Технические средства приема измерительной и командной информации.....</b>	<b>36</b>
<b>1.11 Лекция № 11 Технические средства преобразования измерительной и командной информации.....</b>	<b>38</b>
<b>1.12 Лекция № 12 Технические средства передачи измерительной информации.....</b>	<b>43</b>
<b>1.13 Лекция № 13 Технические средства передачи командной информации.....</b>	<b>46</b>
<b>1.14 Лекция № 14 Технические средства обработки, хранения информации и выработки командных воздействий.....</b>	<b>50</b>
<b>1.15 Лекция № 15 Специализированные ЭВМ и вычислительные комплексы.....</b>	<b>59</b>
<b>1.16 Лекция № 16 Промышленные (индустриальные); микро-ЭВМ и микро-УВК....</b>	<b>68</b>
<b>1.17 Лекция № 17 Программируемые компьютерные контроллеры.....</b>	<b>70</b>
<b>1.18 Лекция № 18 Микро-ЭВМ .....</b>	<b>74</b>
<b>1.19 Лекция № 19 Программное обеспечение.....</b>	<b>76</b>
<b>1.20 Лекция № 20 Принципы программирования.....</b>	<b>79</b>
<b>1.21 Лекция № 21 Технические средства для отображения процессов в системах автоматизации и управления.....</b>	<b>85</b>
<b>1.22 Лекция № 22 Видео термальные средства, индикаторы, пульта и станции оператора.....</b>	<b>86</b>
<b>1.23 Лекция № 23 Комплекс технических средств.....</b>	<b>89</b>

<b>1.24 Лекция №24</b> Комплексы технических средств.....	93
<b>1.25 Лекция №25</b> Промышленные информационные сети.....	106
<b>1.26 Лекция №26</b> Промышленные информационные сети.....	108
<b>2. Методические указания по выполнению лабораторных работ</b> .....	111
<b>2.1 Лабораторная работа № ЛР-1</b> Исследование схем однофазных неуправляемых и управляемых выпрямителей.....	111
<b>2.2 Лабораторная работа № ЛР-2,3</b> Исследование схем пассивных и активных сглаживающих фильтров.....	112
<b>2.3 Лабораторная работа № ЛР-4,5</b> Исследование схем компенсационных стабилизаторов напряжения.....	113
<b>2.4 Лабораторная работа № ЛР-6,7</b> Исследование типовых схем усилителей на биполярных транзисторах.....	114
<b>2.5 Лабораторная работа № ЛР-8,9</b> Исследование дифференциального каскада на биполярных транзисторах.....	115
<b>2.6 Лабораторная работа № ЛР-10,11</b> Исследование двухтактного бестрансформаторного усилителя мощности.....	115
<b>2.7 Лабораторная работа № ЛР-12,13</b> Исследование операционного усилителя.....	116
<b>2.8 Лабораторная работа № ЛР-14,15</b> Исследование линейных вычислительных схем на основе операционных усилителей.....	117
<b>3. Методические указания по проведению практических занятий</b> .....	118
<b>3.1 Практическое занятие № ПЗ-1,2</b> Изучение статических характеристик измерительных преобразователей.....	118
<b>3.2 Практическое занятие № ПЗ-3,4</b> Изучение динамических характеристик измерительных преобразователей.....	123
<b>3.3 Практическое занятие № ПЗ-5,6</b> Изучение статических и динамических характеристик измерительных преобразователей .....	125
<b>3.4 Практическое занятие № ПЗ-7,8</b> Изучение конструкции и принципов работы датчиков.....	126
<b>3.5 Практическое занятие № ПЗ-9</b> Изучение конструкции исполнительных устройств .....	130
<b>3.6 Практическое занятие № ПЗ-10</b> Изучение принципа работы исполнительных устройств .....	132
<b>3.7 Практическое занятие № ПЗ-11</b> Изучение конструкции исполнительных устройств.....	133

<b>3.8 Практическое занятие № ПЗ-12</b>	Изучение принципов работы исполнительных устройств.....	134
<b>3.9 Практическое занятие № ПЗ-13</b>	Изучение конструкции и принципов работы исполнительных устройств.....	137
<b>3.10 Практическое занятие № ПЗ-14</b>	Изучение устройств связи с объектом управления.....	137
<b>3.11 Практическое занятие № ПЗ-15</b>	Изучение характеристик передачи данных.....	139
<b>3.12 Практическое занятие № ПЗ-16,17</b>	Изучение цифровых средств обработки информации в системах автоматизации и управления.....	141
<b>3.13 Практическое занятие № ПЗ-18</b>	Изучение устройств связи с объектом управления и характеристики передачи данных.....	142

# 1. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

## 1. 1 Лекция №1( 2часа).

**Тема:** «Предмет и значение дисциплины»

### 1.1.1 Вопросы лекции:

1. Введение. Предмет и значение дисциплины, её роль и место в системе подготовки инженеров сельскохозяйственного производства.
2. Краткий очерк развития технических средств.

### 1.1.2 Краткое содержание вопросов:

1. Введение. Предмет и значение дисциплины, её роль и место в системе подготовки инженеров сельскохозяйственного производства.

Автоматизация является одним из важнейших факторов роста производительности труда и повышения качества выпускаемой продукции. Непременным условием ускорения темпов роста автоматизации является развитие и совершенствование ее технических средств, к которым относятся все устройства, входящие в систему управления и предназначенные для получения информации, ее передачи, хранения и преобразования, а также для осуществления управляющих воздействий на объект управления. Эти воздействия осуществляются с помощью исполнительных механизмов и регулирующих органов, описанию которых посвящено данное пособие.

Основное внимание уделяется электромеханическим исполнительным механизмам, т.к. они получили широкое распространение на практике, благодаря удобству преобразования электрических сигналов устройства управления —регулятора в требуемое механическое перемещение регулирующего органа, изменяющего материальные и энергетические потоки в управляемом объекте.

2. Краткий очерк развития технических средств.

**Этапы развития технических средств автоматизации.** Развитие технических средств автоматизации является сложным процессом, в основе которого лежат экономические интересы и технические потребности автоматизируемых производств, с одной стороны, и те же интересы и технологические возможности производителей технических средств автоматизации, — с другой. Первичным стимулом развития является повышение экономической эффективности работы предприятий, благодаря внедрению новых, более совершенных технических средств автоматизации.

В развитии экономических и технических предпосылок внедрения и использования автоматизации технологических процессов (ТП) можно выделить следующие этапы:

1. **Начальный** этап, для которого характерны избыток дешевой рабочей силы, низкая производительность труда, малая единичная мощность агрегатов и установок. Благодаря этому самое широкое участие человека в управлении ТП, т.е. наблюдение за объектом управления, а также принятие и исполнение управляющих решений, на данном этапе было экономически оправданным. Механизации и автоматизации подлежали только те отдельные процессы и операции, управление которыми человек не мог осуществлять достаточно надежно по своим психофизиологическим данным, т.е. технологические операции требовавшие больших мускульных усилий, быстроты реакции, повышенного внимания и др.

2. Переход к этапу *комплексной механизации и автоматизации* производства произошел благодаря росту производительности труда, укрупнению единичной мощности агрегатов и установок, развитию материальной и научно—технической базы автоматизации. На этом этапе, при управлении ТП человек—оператор все более занимается умственным трудом, выполняя разнообразные логические операции при пусках и остановках объектов, особенно при возникновении всевозможных непредвиденных обстоятельств, предаварийных и аварийных ситуаций, а также оценивает состояние объекта, контролирует и резервирует работу автоматических систем. На данном

этапе формируются основы крупносерийного производства технических средств автоматизации, ориентированного на широкое применение стандартизации, специализации и кооперации. Широкие масштабы производства средств автоматизации и специфика их изготовления приводят к постепенному выделению этого производства в самостоятельную отрасль.

3. С появлением управляющих вычислительных машин (УВМ) начинается переход к этапу **автоматизированных систем управления технологическими процессами** (АСУТП), совпавший с началом научно—технической революции. На данном этапе становится возможной и экономически целесообразной автоматизация все более сложных функций управления, осуществляемая с использованием УВМ. Но, поскольку УВМ тогда были весьма громоздкими и дорогими, то для реализации более простых функций управления достаточно широко применялись и традиционные аналоговые устройства автоматики. Недостатком таких систем была их невысокая надежность, т.к. вся информация о ходе ТП поступает и обрабатывается УВМ, при выходе которой из строя, ее функции должен был взять на себя оператор—технолог, контролирующий работу АСУТП. Естественно, что в таких случаях качество управления ТП значительно снижалось, т.к. человек не мог осуществлять управление столь же эффективно, как УВМ.

4. Появление относительно недорогих и компактных микропроцессорных устройств позволило отказаться от централизованных систем управления ТП, заменив их **распределенными системами**, в которых сбор и обработка информации о выполнении отдельных взаимосвязанных операций ТП, а также принятие управленческих решений осуществляется автономно, локальными микропроцессорными устройствами, получившими название микроконтроллеров. Поэтому надежность распределенных систем значительно выше, чем централизованных.

5. Развитие сетевых технологий, позволившее связать в единую корпоративную сеть многочисленные и удаленные друг от друга компьютеры, с помощью которых осуществляется контроль и анализ финансовых, материальных и энергетических потоков при производстве предприятием продукции, а также управление ТП, способствовало переходу к **интегрированным системам управления**. В этих системах с помощью весьма сложного программного обеспечения совместно решается весь комплекс задач по управлению деятельностью предприятия, включая задачи учета, планирования, управления ТП и др.

6. Повышение быстродействия и других ресурсов микропроцессоров, используемых для управления ТП, позволяет в настоящее время говорить о переходе к этапу создания **интеллектуальных систем управления**, способных принимать эффективные решения по управлению предприятием в условиях информационной неопределенности, т.е. нехватке необходимой информации о факторах, влияющих на его прибыль.

**Методы стандартизации и структура технических средств автоматизации.** Экономика отрасли, производящей средства автоматизации требует достаточно узкой специализации предприятий, выпускающих крупные серии однотипных устройств. В то же время с развитием автоматизации, с появлением новых, все более сложных объектов управления и увеличением объема автоматизируемых функций возрастают требования к функциональному разнообразию устройств автоматизации и к разнообразию их технических характеристик и конструктивных особенностей исполнения. Задача уменьшения функционального и конструктивного многообразия при оптимальном удовлетворении запросов автоматизируемых предприятий решается при помощи **методов стандартизации**.

Решениям по стандартизации всегда предшествуют системные исследования практики автоматизации, типизация имеющихся решений и научное обоснование экономически оптимальных вариантов и возможностей дальнейшего сокращения многообразия применяемых устройств. Принимаемые при этом решения после их

практической проверки оформляются обязательными к исполнению государственными стандартами (ГОСТ). Более узкие по сфере применения решения могут оформляться и в виде отраслевых стандартов (ОСТ), а также в виде имеющих еще более ограниченную применимость стандартов предприятий (СТП).

**Агрегатирование** — принцип формирования состава серийно изготавливаемых средств автоматизации, направленный на максимальное удовлетворение запросов предприятий—потребителей при ограниченной номенклатуре серийно выпускаемой продукции.

Агрегатирование базируется на том, что сложные функции управления можно разложить на простейшие составляющие (также, как, например, сложные вычислительные алгоритмы можно представить в виде совокупности отдельных простейших операторов).

Таким образом, **агрегатирование основывается на разложении общей задачи управления на ряд простейших однотипных операций, повторяющихся в тех или иных комбинациях в самых различных системах управления.** При анализе большого количества подобных систем управления можно выделить ограниченный набор простейших функциональных операторов, на комбинации которых строится практически любой вариант АСУТП. В результате формируется состав серийно изготавливаемых средств автоматизации, включающий такие конструктивно завершенные и функционально самостоятельные единицы, как блоки и модули, приборы и механизмы.

**Блок** — конструктивное сборное устройство, выполняющее одну или несколько функциональных операций по преобразованию информации.

**Модуль** — унифицированный узел, выполняющий элементарную типовую операцию в составе блока или прибора.

**Исполнительный механизм (ИМ)**— устройство для преобразования управляющей информации в механическое перемещение с располагаемой мощностью, достаточной для воздействия на объект управления.

В соответствии с принципом агрегатирования системы управления создаются путем монтажа модулей, блоков, приборов и механизмов с последующей коммутацией каналов и линий связи между ними. В свою очередь, сами блоки и приборы создаются также путем монтажа и коммутации различных модулей. Модули же собираются из более простых узлов (микромодулей, микросхем, плат, устройств коммутации и т.п.), составляющих элементную базу технических средств. При этом изготовление блоков, приборов и модулей осуществляется полностью в заводских условиях, в то время как монтаж и коммутация АСУТП полностью завершается лишь на месте ее эксплуатации. Такой подход к построению блоков и приборов получил название **блочно—модульного принципа** исполнения технических средств автоматизации.

Применение блочно—модульного принципа не только позволяет проводить широкую специализацию и кооперирование предприятий в рамках отрасли, производящей средства автоматизации, но и ведет к повышению ремонтпригодности и увеличению коэффициентов использования этих средств в системах управления. Обычно предприятия, выпускающие средства автоматизации промышленного назначения, специализируются на изготовлении комплексов или систем блоков и приборов, функциональный состав которых ориентирован на реализацию каких—либо крупных функций или подсистем АСУТП. При этом в рамках отдельного комплекса все блоки и приборы выполняются **совместимыми по интерфейсу**, т.е. совместимыми по параметрам и характеристикам сигналов—носителей информации, равно как и по конструктивным параметрам и характеристикам устройств коммутации. Принято называть такие комплексы и системы средств автоматизации агрегатными или агрегатированными.

В России производство средств автоматизации промышленного назначения осуществляется в рамках Государственной системы приборов и средств автоматизации промышленного назначения (или сокращенно ГСП). ГСП включает все средства автоматизации, отвечающие единым общим технологическим требованиям к параметрам

и характеристикам сигналов—носителей информации, к характеристикам точности и надежности средств, к их параметрам и особенностям конструктивного исполнения.

**Унификация средств автоматизации.** *Унификация* — сопутствующий агрегатированию метод стандартизации, также направленный на упорядочение и разумное сокращение состава серийно изготавливаемых средств автоматизации. Она направлена на ограничение многообразия параметров и технических характеристик, принципов действия и схем, а также конструктивных особенностей исполнения средств автоматизации.

**Сигналы — носители** информации в средствах автоматизации могут различаться как по физической природе и параметрам, так и по форме представления информации. В рамках ГСП применяются в серийном производстве средств автоматизации следующие типы сигналов:

- электрический сигнал (напряжение, сила или частота электрического тока);
- пневматический сигнал (давление сжатого воздуха);
- гидравлический сигнал (давление или перепад давлений жидкости).

Соответственно в рамках ГСП формируются электрическая, пневматическая и гидравлическая ветви средств автоматизации.

Наиболее развитой ветвью средств автоматизации является электрическая. В то же время широко используются и пневматические средства. Развитие пневматической ветви ограничивается относительно низкой скоростью преобразования и передачи пневматических сигналов. Тем не менее в области автоматизации пожаро- и взрывоопасных производств пневматические средства находятся, по существу, вне конкуренции. Гидравлическая ветвь средств ГСП не получила широкого развития.

По форме представления информации сигнал может быть аналоговым, импульсным и кодовым.

**Аналоговый сигнал** характеризуется текущими изменениями какого—либо физического параметра—носителя (например, мгновенными значениями электрического напряжения или тока). Такой сигнал существует практически в каждый данный момент времени и может принимать любые значения в пределах заданного диапазона изменений параметра.

**Импульсный сигнал** характерен представлением информации только в дискретные моменты времени, т.е. наличием квантования по времени. При этом информация представляется в виде последовательности импульсов одинаковой продолжительности, но различной амплитуды (амплитудно-импульсная модуляция сигнала) или одинаковой амплитуды, но разной продолжительности (широотно-импульсная модуляция сигнала). Амплитудно-импульсная модуляция (АИМ) сигнала применяется в тех случаях, когда значения физического параметра—носителя информации могут изменяться со временем. Широотно-импульсная модуляция (ШИМ) сигнала используется, если физический параметр—носитель информации может принимать лишь некоторое постоянное значение.

**Кодовый сигнал** представляет собой сложную последовательность импульсов, используемую для передачи цифровой информации. При этом каждая цифра может быть представлена в виде сложной последовательности импульсов, т.е. кода, а передаваемый сигнал является дискретным (квантуется) и по времени, и по уровню.

В соответствии с формой представления информации средства ГСП подразделяются на *аналоговые* и *дискретно-цифровые*. К последним относятся также средства вычислительной техники.

Все параметры и характеристики сигналов—носителей информации в средствах ГСП унифицированы. Стандартами предусматривается использование в аналоговых средствах следующих видов электрических сигналов:

- сигнал по изменению силы постоянного тока (токовый сигнал);
- сигнал по изменению напряжения постоянного тока;
- сигнал по изменению напряжения переменного тока;
- частотный электрический сигнал.



Сигналы постоянного тока используются чаще. При этом токовый сигнал (с большим внутренним сопротивлением источника) применяется для передачи информации в относительно длинных линиях связи.

Сигналы переменного тока редко используются для преобразования и передачи информации во внешних линиях связи. Это связано с тем, что при сложении и вычитании сигналов переменного тока необходимо выполнить требование синфазности, а также обеспечить подавление нелинейных искажений гармоник тока. В то же время при использовании этого сигнала легко реализуются задачи гальванического разделения электрических цепей.

Электрический частотный сигнал является потенциально наиболее помехоустойчивым аналоговым сигналом. В то же время получение и осуществление линейных преобразований этого сигнала вызывает известные затруднения. Поэтому частотный сигнал не получил широкого распространения.

Для каждого вида сигналов установлен ряд унифицированных диапазонов их изменений.

Стандарты на виды и параметры сигналов унифицируют систему внешних связей или **интерфейс** средств автоматизации. Такая унификация, дополненная стандартами на устройства коммутации блоков друг с другом (в виде системы разъемов), создает предпосылки для максимального упрощения проектирования, монтажа, коммутации и наладки технических средств систем управления. При этом блоки, приборы и прочие устройства с одинаковым типом и диапазоном параметров сигналов на входах—выходах стыкуются путем простого соединения разъемов.

## **2 Лекция №2( 2часа).**

**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. 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.

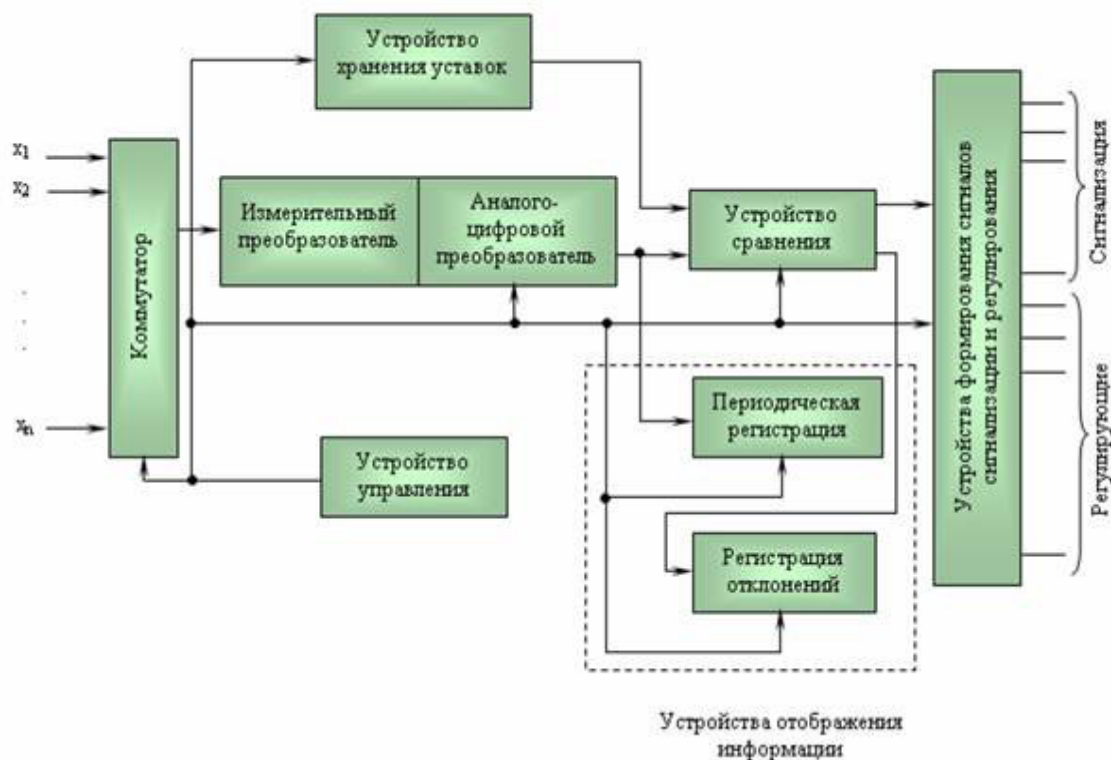


Рис. 10.4 Типовая структура установки централизованного контроля и регулирования

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 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

### **3 Лекция №3( 2часа).**

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

#### **1.1.1 Вопросы лекции:**

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

#### **1.1.2 Краткое содержание вопросов:**

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

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

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

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

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

#### **Назначение АСУ ТП**

Основными целями автоматизации технологических процессов являются:

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

Достижение целей осуществляется посредством широкого функционала АСУ ТП.

Основные функции:

1. Автоматическое управление параметрами технологического процесса. Контроллер системы осуществляет регулирование на основании пропорционально - интегрально - дифференциального закона, что позволяет достичь оптимальных переходных процессов запуска и остановки оборудования, быстрой и адекватной реакции системы на внешние изменения. Это позволяет достигать высоких качественных показателей в других технологических процессах.
2. Сбор, обработка, отображение, выдача управляющих воздействий и регистрация информации о технологическом процессе и технологическом оборудовании. Контроллер системы в автоматическом режиме собирает, обрабатывает информацию от датчиков процесса, отображает её на автоматизированное рабочее место оператора в виде мнемосхемы. Мнемосхема оперативно информирует оператора обо всех технологических параметрах в режиме реального времени. На основании собранных данных контроллер АСУ ТП вырабатывает сигналы управления для исполнительных механизмов.
3. Распознавание, сигнализация и регистрация аварийных ситуаций, отклонений процесса от заданных пределов, отказов технологического оборудования. На основе анализа собранных данных, контроллер системы распознаёт выход параметров за установки и сигнализирует оператору, либо автоматически блокирует нежелательное развитие ситуации.

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

#### 4 Лекция №4( 2часа).

**Тема:** Технические средства информации.

##### 1.1.1 Вопросы лекции:

1. Датчики. Параметрические и генераторные датчики.
2. Датчики перемещения, датчики скорости, датчики температуры, датчики давления.

##### 1.1.2 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: термopара, 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.*

## 5 Лекция №5( 2часа).

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

### 1.5.1 Вопросы лекции:

1. Измерительные преобразователи: общие сведения, классификация.
2. Статические и динамические характеристики измерительных преобразователей.

### 1.5.2 Краткое содержание вопросов:

#### Классификация ИП

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



Датчики осуществляют первичное преобразование физико-химической величины, как правило, в какой-либо электрический параметр: напряжение, ток, сопротивление, емкость, индуктивность. Поэтому датчики еще называют первичными преобразователями. Дальнейшее измерение электрических параметров осуществляется хорошо известными стандартными методами.

### Резистивные ИП

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.

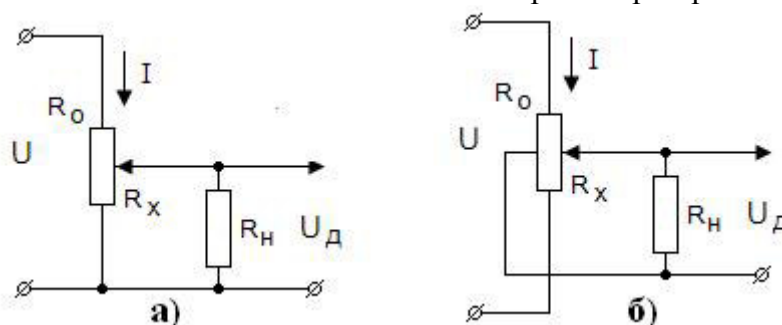


Рис. 20 Потенциометрические датчики: а) полярный, б) реверсивный.

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

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

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

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

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

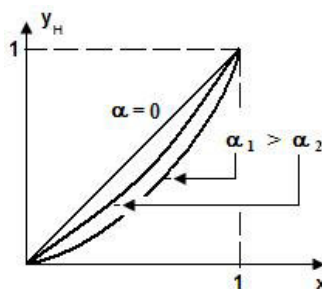


Рис.21 Характеристика потенциометрического датчика.

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

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

Наибольшее значение погрешность линейного потенциометра имеет при

нахождении движка в среднем положении, т.е. при  $X=L/2$ .

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

Передачная 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 движка, дискретность.

#### **Тензорезистивные датчики**

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

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

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

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

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

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

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

##### **Проволочные тензометрические датчики**

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

механических напряжений. Для проволочных тензодатчиков выполненных из константовой 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.

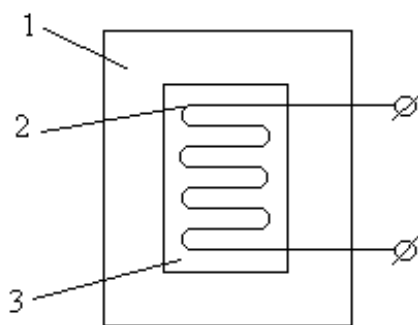


Рис. 22 Проволочный тензометрический датчик: 1- деталь, 2- бумага, 3- константовая проволока.

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».

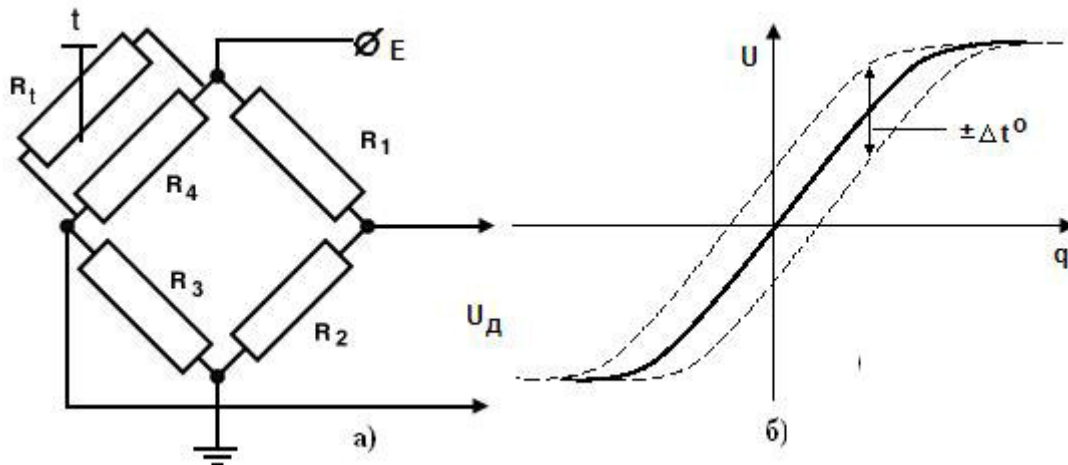


Рис. 23 Мостовой тензорезистивный датчик: а) – схема, б) – характеристика..

## Терморезистивные датчики

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

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

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

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

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

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

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°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.

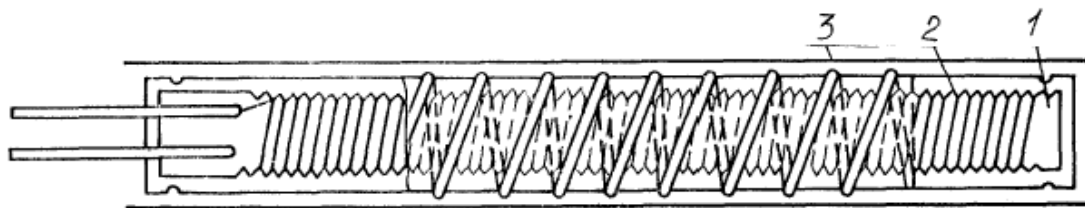


Рис. 24 Конструкция термометра сопротивления.

Термометр сопротивления имеет чувствительный элемент в виде тонкой проволоки 2 (диаметр 0,05 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,  $\text{CuO}$ ,  $\text{CoO}$ ,  $\text{MnO}$ ), 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  $R_\theta$  уменьшается в 20-70 раз, в зависимости от величины его

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

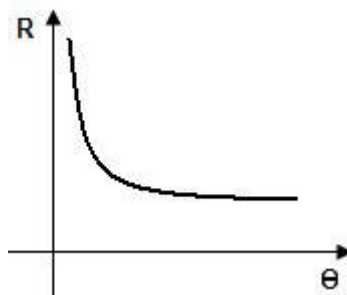


Рис. 25 Характеристика термистора.

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

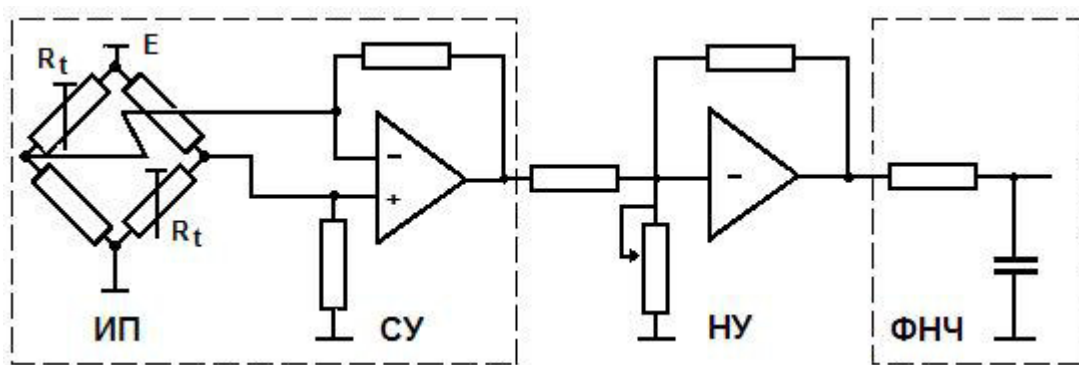


Рис. 26 Схема измерения на основе термистора.

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  $t_1$ :

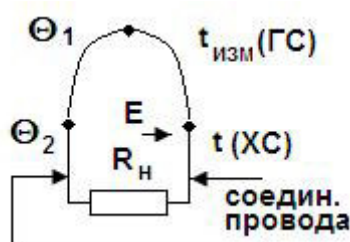


Рис. 27. Термопара.

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, Н.

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%)	ПП (S)	0...+1300
ТВР	платина	ВР (A)	0...2200
	Вольфрамрений (5%)	-	

	вольфрамовый (20%)		

Чувствительность термопар различна и лежит в диапазоне от 10 мкВ/0°С (ПП) до 70 мкВ/0°С(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  $t_0^1$  не равна температуре  $t_0$ , то ЭДС термопары  $E(t, t_0^1)$  отличаются от ЭДС  $E(t, t_0)$ , которая нужна для определения температуры по стандартной градуировке. и необходимо введение поправки.

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

Передаточная функция термопары:

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

Достоинства: большой диапазон, стабильность, надежность.

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

## 6 Лекция №6 ( 2 часа).

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

### 1.6.1 Вопросы лекции:

1. Структурные схемы измерительных преобразователей
2. Унификация и стандартизация измерительных преобразователей.

### 1.6.2 Краткое содержание вопросов:

1. Структурные схемы измерительных преобразователей.

#### Структурные схемы ИП и их погрешности

В ГСП, несмотря на значительное разнообразие измеряемых величин и используемых для этого принципов измерений, применяются четыре структурные схемы измерительных устройств, а именно: схема прямого однократного преобразования, схема последовательного прямого преобразования, схема прямого дифференциального преобразования, схема управляющего преобразования (часто называется компенсационной).

Структура однократного прямого преобразования реализуется в ИП с естественными выходными сигналами, например в термоэлектрических преобразователях, датчиках давления и перепада давления. Если первичное преобразование измеряемой величины не дает удобного для использования сигнала, применяют структуры с несколькими последовательными ИП.

Дифференциальная структура в ИП применяется тогда, когда измерение основывается на сопоставлении результатов преобразования измерительной информации, полученной в реальных и в некоторых эталонных условиях. Преимущество этой структуры по сравнению с предыдущими состоит в значительном уменьшении погрешности, обусловленной изменением параметров источника питания и окружающей среды.

Наиболее совершенной является структура с отрицательной обратной связью, получившая название компенсационной схемы. Достоинство схемы - компенсация изменений параметров измерительного тракта вследствие того, что выходной сигнал непрерывно сравнивается с измеряемой величиной. Отрицательная обратная связь существенно снижает влияние погрешности звеньев прямого канала на результат преобразования.

Измерительные устройства в этих структурах состоят из некоторого числа элементов, организованных в измерительную цепь.

Преобразовательный элемент – элемент системы измерений (СИ), в котором происходит одно из ряда последовательных преобразований величины;

Чувствительный элемент – первый элемент в измерительной цепи. Преобразовательный элемент, находящийся под непосредственным воздействием измеряемой величины;

Измерительный механизм – часть конструкции СИ, состоящий из элементов, взаимодействие которых вызывает взаимное перемещение

Отсчетное устройство – часть конструкции СИ, предназначенное для регистрации показаний.

Регистрирующее устройство – часть регистрирующего измерительного прибора, предназначенная для регистрации показаний.

На рисунке ниже приведены схемы измерительных устройств прямого действия (прямого преобразования) и уравнивающего или компенсационного преобразования.

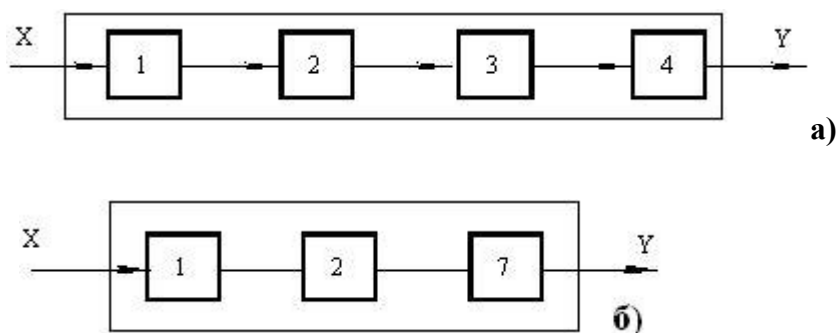


Рис. 15 Структурные схемы СИ прямого действия.

Работа СИ прямого действия. На рисунке 15а измеряемая физическая величина  $X$  поступает в чувствительный элемент 1, где преобразуется в другую величину, удобную для дальнейшего использования (ток, напряжение, давление, перемещение, сила), и поступает на промежуточный преобразовательный элемент 2, который обычно либо усиливает поступающий сигнал, либо преобразует его по форме. (Элемент 2 может отсутствовать). Выходной сигнал элемента 2 поступает к измерительному механизму 3, перемещение элементов которого определяется с помощью отсчетного устройства 4. Выходной сигнал  $Y$  (показание), формируемый измерительным прибором, может быть воспринят органами чувств человека.

На рисунке 15б приведена структурная схема измерительного преобразователя, у которого отсутствует измерительный механизм и отсчетное устройство. Этим определяется тот факт, что сигнал измерительных преобразователей имеет форму, недоступную для восприятия человеком. В то же время в составе таких измерительных преобразователей, как правило, имеется окончанный преобразовательный



элемент 7, который формирует выходной сигнал (усиливает его по мощности, преобразует в частоту колебаний и т.д.) таким образом, что его можно передавать на расстояние, хранить и обрабатывать.

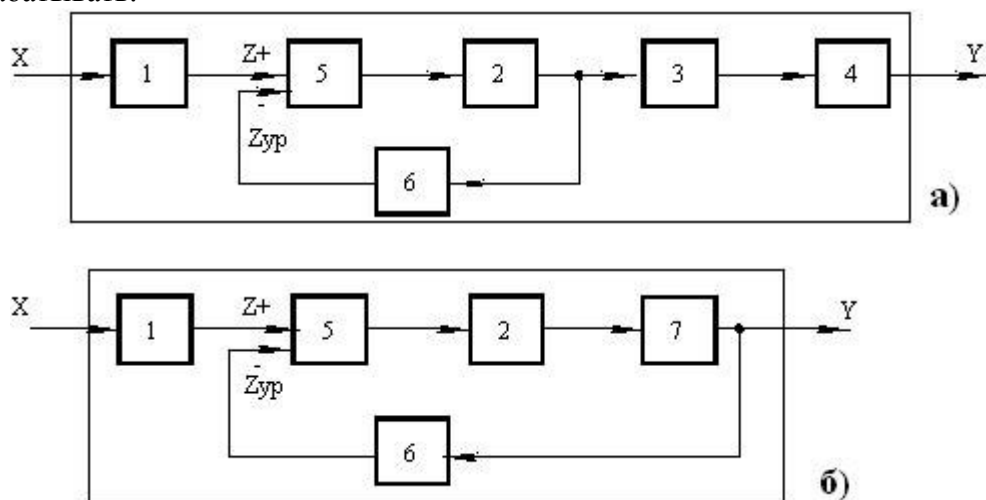


Рис. 16 Структурные схемы СИ сравнения.

Схема измерительного прибора, основанного на методе уравнивающего преобразования, показана на рисунке 16а. Отличительной особенностью таких приборов является наличие отрицательной обратной связи. Здесь сигнал  $Z$ , возникающий на выходе чувствительного элемента, поступает на преобразовательный элемент 5, который способен осуществлять сравнение двух величин (элемент сравнения, компаратор), поступающих на его вход. Кроме величины  $Z$  на выход элемента 5 подается величина с противоположным знаком  $Z_{ур}$  (уравнивающий сигнал), которая формируется на выходе обратного преобразовательного элемента 6. На выходе элемента 5 формируется сигнал, пропорциональный разности значения величин  $Z$  и  $Z_{ур}$ . Этот сигнал поступает в промежуточный преобразовательный элемент 2, выходной сигнал которого поступает одновременно на измерительный механизм 3 и на вход обратного преобразовательного элемента 6. В зависимости от типа промежуточного преобразовательного элемента 2 при каждом значении измеряемого параметра и соответствующем ему значении  $Z$  разность  $Z-Z_{ур}$ , поступающая на вход элемента 5, может сводиться к нулю или иметь некоторое малое значение, пропорциональное измеряемой величине.

На рисунке 16б приведена структурная схема уравнивающего измерительного преобразователя

## 2. Унификация и стандартизация измерительных преобразователей.

### 1. Прямое преобразование.

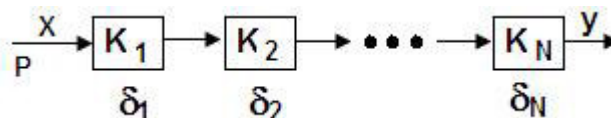


Рис. 17 Схема прямого преобразования.

На рисунке обозначены: P – измеряемая величина; X – ее значение; Y – выходной сигнал преобразователя;  $K_i$  – коэффициенты усиления элементов;  $\delta_i$  – погрешности элементов.

$$Y = \prod_{i=1}^N k_i X \Rightarrow k = \prod_{i=1}^N k_i ; \quad \delta = \sum_{i=1}^N \delta_i$$

### 2. Дифференциальная схема.

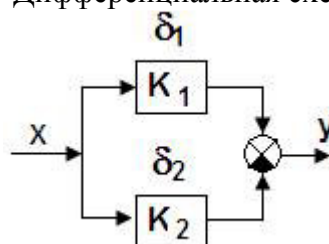


Рис. 18. Дифференциальная схема.

$$Y = (K_1 - K_2)X ; \quad \delta = \delta_1 \frac{K_1}{K_1 + K_2} + \delta_2 \frac{K_2}{K_1 + K_2} < \delta_{12} \max;$$

Достоинства этой структуры:

- уменьшение  $\Delta_{\text{сист}}$ ;
- увеличение чувствительности и снижение нелинейности
- получение реверсивной характеристики.

### 3. Компенсационная схема.

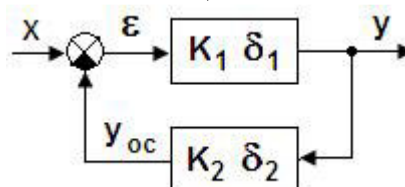


Рис. 19 Компенсационная схема.

$$Y = \left[ \frac{K_1}{1 + K_1 K_2} \right] X ; \quad \delta = \delta_1 \frac{1}{1 + K_1 K_2} - \delta_2 \frac{1}{1 + 1/(K_1 K_2)} \text{ при } K_1 K_2 \gg 1 ; |\delta| \approx |\delta_2| .$$

Достоинства этой структуры:

- увеличение чувствительности и точности;

- стабильность коэффициента преобразования;
- компенсация погрешностей,
- высокое входное сопротивление, что приводит к уменьшению нагрузки на датчик.

## 7 Лекция №7 ( 2часа).

**Тема:** «Общие характеристики исполнительных устройств».

### 1.7.1 Вопросы лекции:

1. Типовые структуры и состав исполнительных устройств.
2. Основные характеристики исполнительных устройств.

### 1.7.2 Краткое содержание вопросов:

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

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

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

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

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

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

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

Так же как и у других элементов автоматики, и каждого типа ИЭ есть статические и динамические характеристики. Для их получения используют следующую модель ИЭ - это многополюсник, у которого выделяют три группы параметров: входные, выходные и возмущения. Рис. 60.

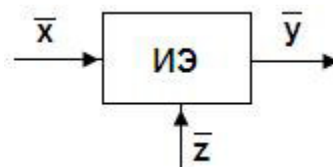


Рис.60 Модель исполнительного элемента: X-входные параметры, Y- выходные, Z- возмущения.

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 ДПП, вносящего дополнительные потери, являющегося источником помех и практически исключающего возможность использования ДПТ в условиях агрессивных и взрывоопасных сред.

## **8 Лекция №8 ( 2часа).**

**Тема:** «Исполнительные устройства: электрические серводвигатели, гидравлические двигатели».

### **1.8.1 Вопросы лекции:**

1. Исполнительные устройства: электрические серводвигатели, гидравлические двигатели.
2. Пассивные и активные элементы.

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

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.

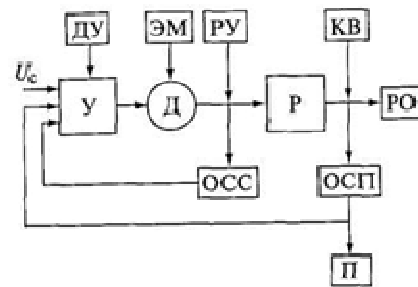
Конструктивно электродвигательные исполнительные механизмы выполняются, как правило, с вращательным движением выходного вала и реже с поступательным перемещением выходного штока. В системах общепромышленной автоматики для привода заслонок, кранов, шиберов и других устройств наиболее часто применяются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

## 9 Лекция №9 ( 2 часа).

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

### 1.9.1 Вопросы лекции:

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

### 1.9.2 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: ТОО, 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*.

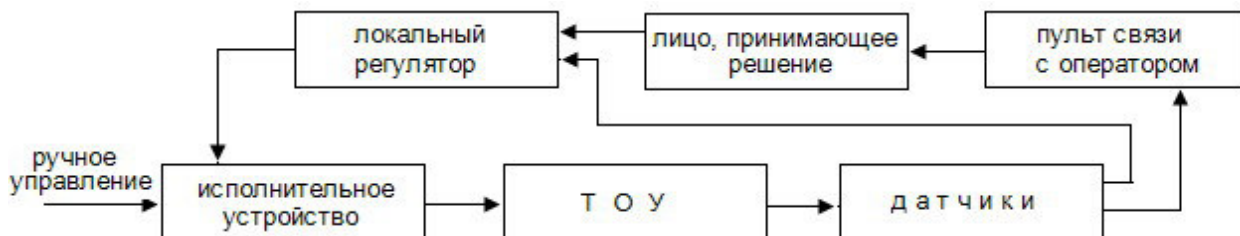


Рис.1 Типовая структура локальной системы управления.

*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 исполняет 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.



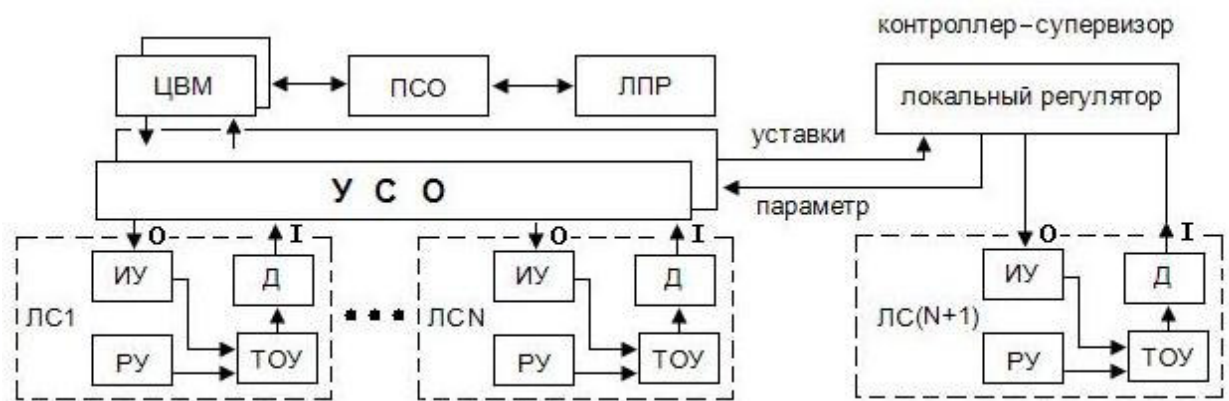


Рис.2 Типовая структура централизованной системы управления.

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

*Распределенная* система управления (PCY) содержит несколько уровней. Модель АСУП предполагает, что САУ 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.

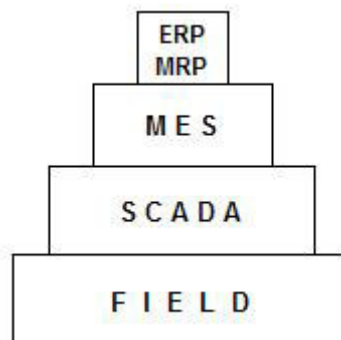


Рис. 3. Иерархическая структура распределенной системы управления.

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.

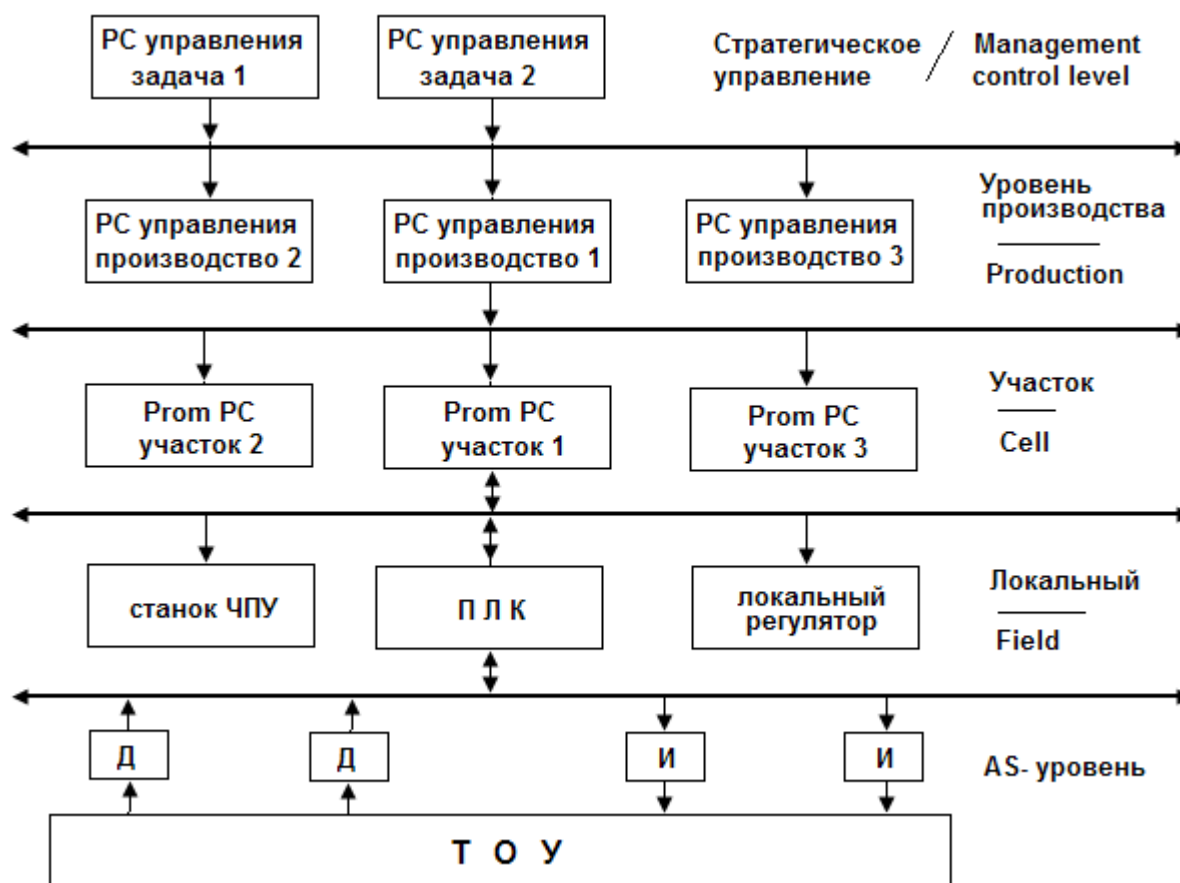


Рис.4 Типовая структура распределенной системы управления.

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.

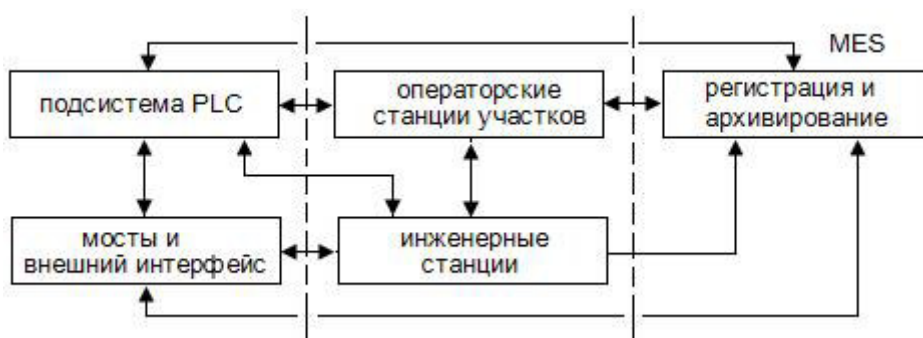


Рис.5 Структура SCADA системы типа DCS.

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 (production management). 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 PC 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. **ERP I** – 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.

## 10 Лекция №10 ( 2 часа).

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

### 1.10.1 Вопросы лекции:

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

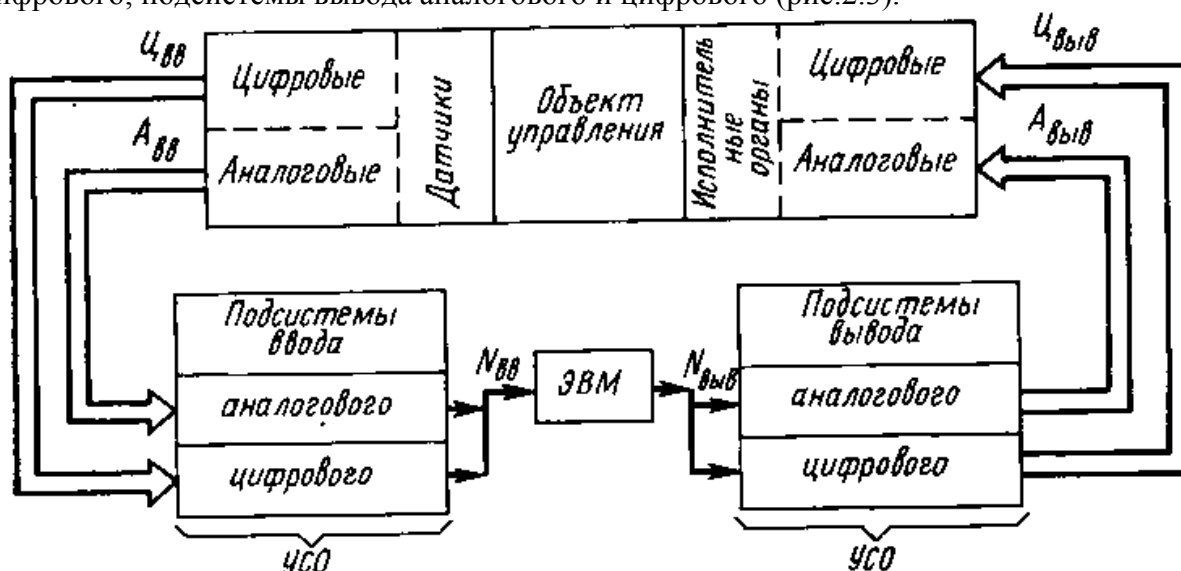
### 1.10.2 Краткое содержание вопросов:

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.

Т а б л и ц а 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.

## **11 Лекция №11 ( 2часа).**

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

### **1.11.1 Вопросы лекции:**

1. Устройства преобразования связи с объектом управления.

## 2. Системы преобразования данных.

### 1.11.2 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  $q=1/2n$ , где  $n$  — число разрядов преобразуемого двоичного кода;

- *точность* — наибольшее отклонение аналогового сигнала от входного цифрового значения, равное цене младшего разряда  $\Delta A_0$ ;

- *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 ОУ определяется суммой:

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

2.1.74  
2.1.75

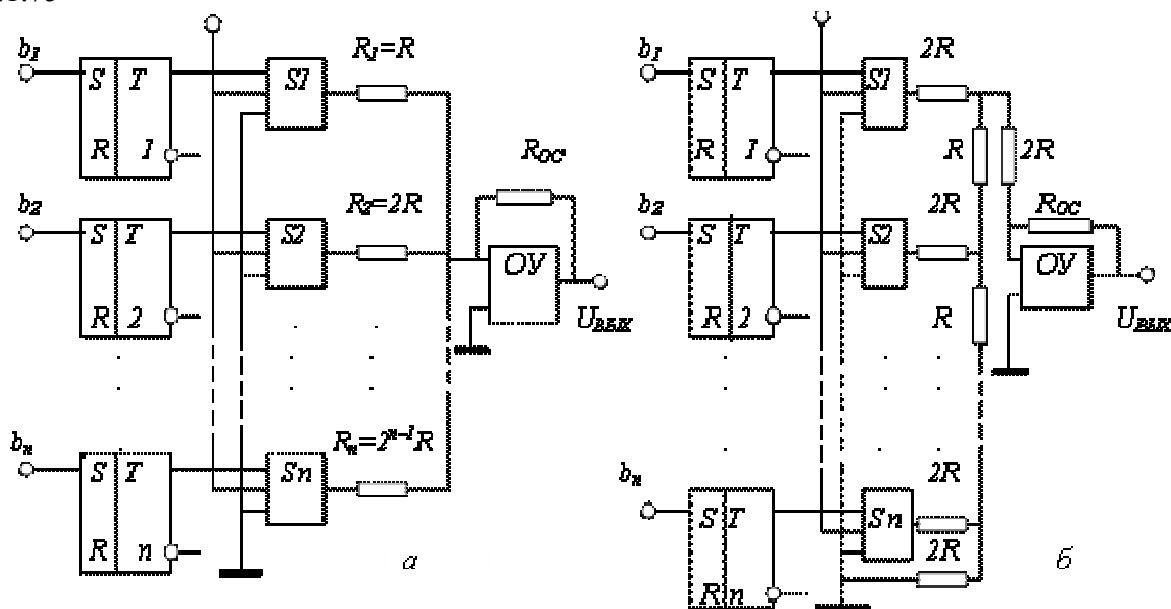


Рис. 8.2.1 — ЦАП параллельного кода

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 счёта 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  $\Delta t_2$ .

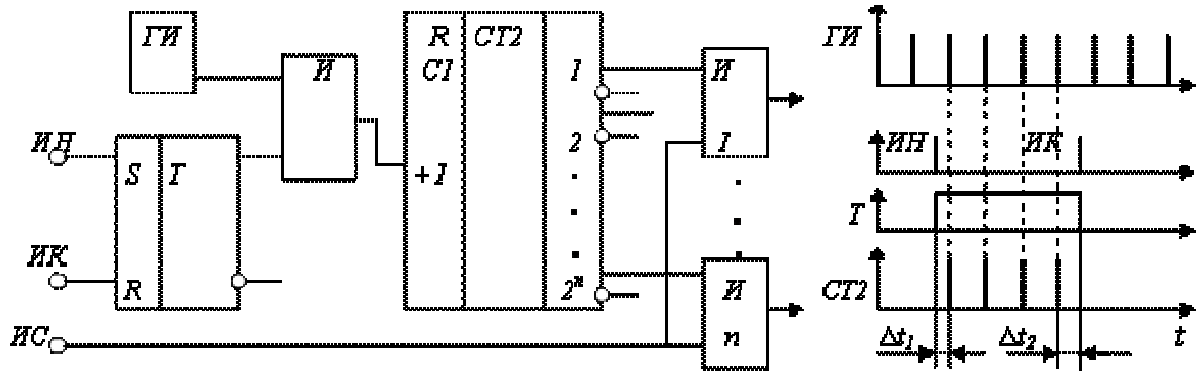


Рис. 8.2.2 — АЦП интервалов времени в код

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  $U_{ЦАП}$ , 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  $U_{ЦАП}$  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 СС, 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.

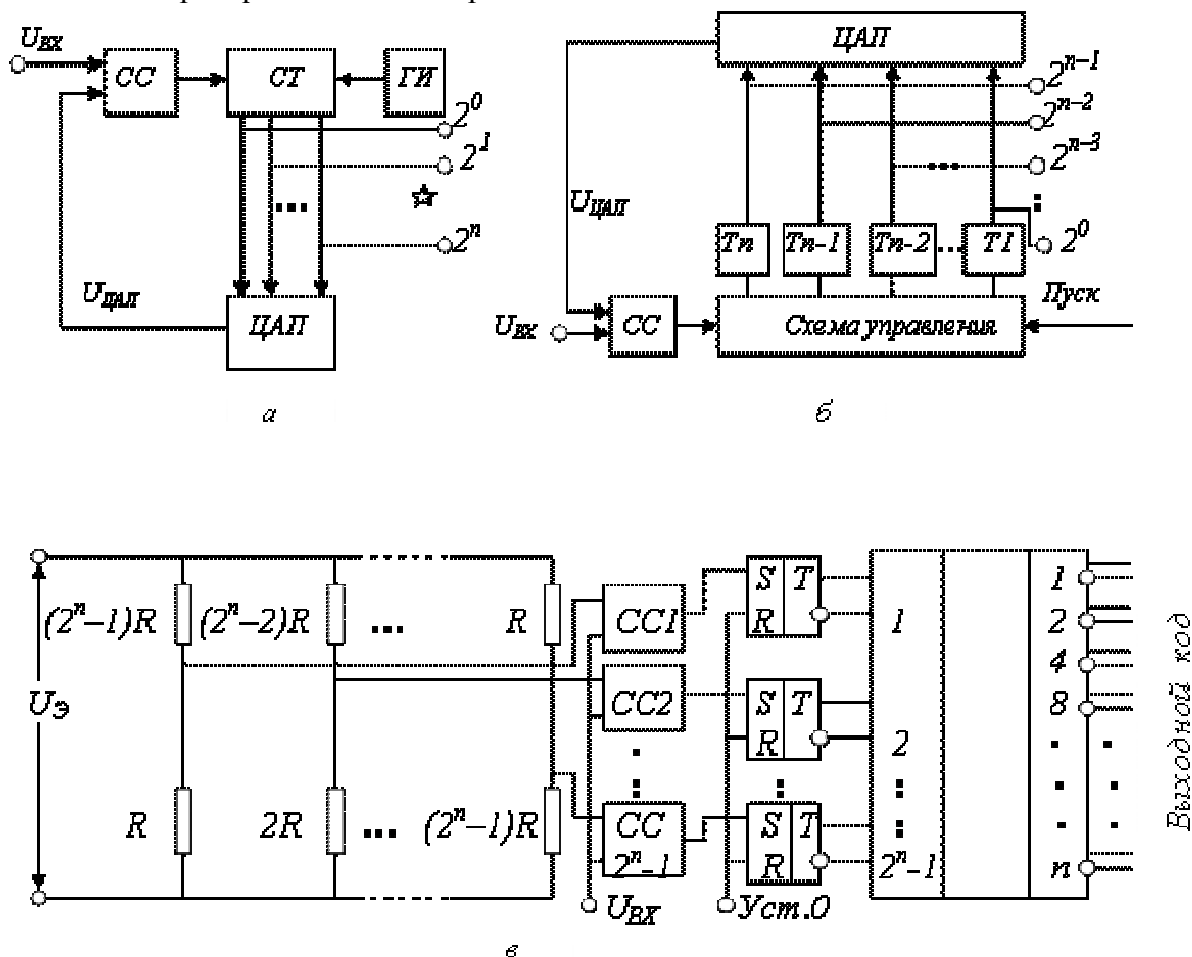


Рис. 8.2.3 — Аналого-цифровые преобразователи

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  $CC$ .

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  $CC$  с эталонными  $n$  уровнями напряжений  $U_{\Sigma j}$ , пропорциональных числам от  $2^0 = 1$  до  $2^n - 1$   $n$ -разрядного двоичного кода. Эталонные уровни напряжений  $U_{\Sigma j}$  формируются в резистивном делителе и подаются на входы соответствующих компараторов вместе с преобразуемым аналоговым напряжением  $UBX$ . При  $UBX > U_{\Sigma j}$  на выходах компараторов  $CC$  устанавливается сигнал 0, а при  $UBX < U_{\Sigma j}$  — 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, ...,  $2^{n-1}$ .

1. Изменения UBХ 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 ( $2n - 1$ ). 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.

## **12 Лекция №12 ( 2часа).**

**Тема:** «Технические средства передачи измерительной информации».

### **1.12.1 Вопросы лекции:**

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

### **1.12.2 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 Д1 – Дn.

Каждый *i*-й сигнал включает в себя измерительный преобразователь ИП<sub>*i*</sub>, коммутатор с запоминанием информационного признака сигнала КЗУ<sub>*i*</sub>, фильтр Ф<sub>*i*</sub> 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.

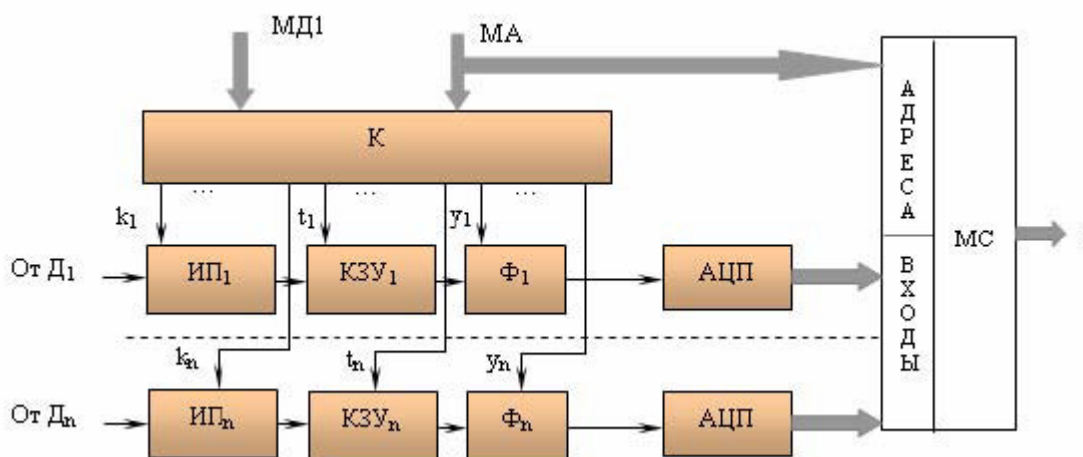


Рис. 8.2 Структурная схема устройства связи с объектом с параллельным вводом сигналов

Контроллер канала устройства связи с объектом синхронизирует работу параллельных каналов, в частности управляет коммутаторами с запоминанием КЗУ<sub>*i*</sub> 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.

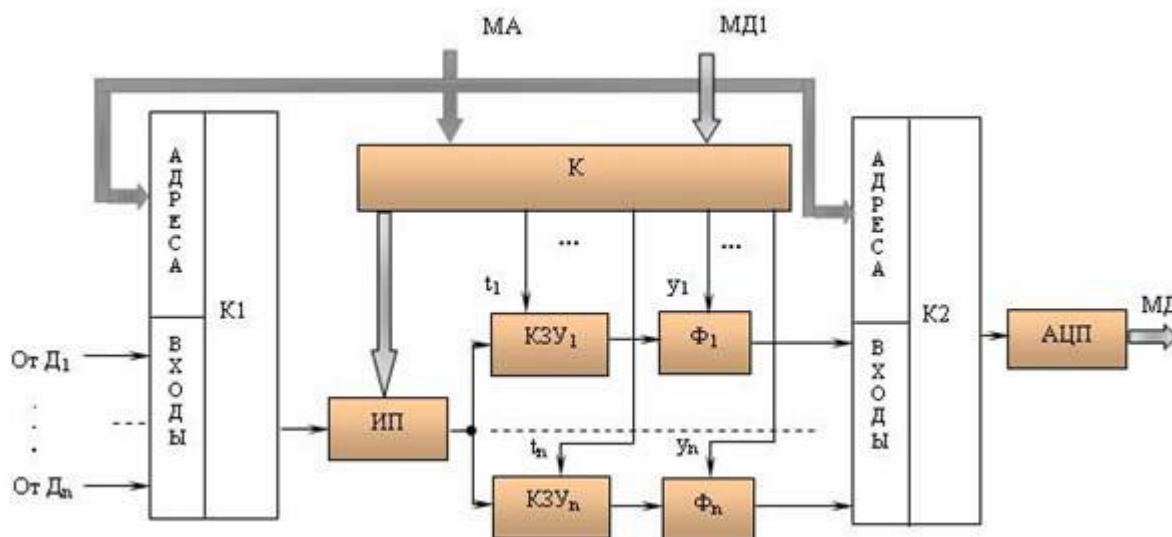


Рис. 8.3 Структурная схема устройства связи с объектом с последовательным вводом сигналов от аналоговых датчиков

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 К1 и К2 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

### 13 Лекция №13 ( 2 часа).

**Тема:** «Технические средства передачи командной информации».

#### 1.13.1 Вопросы лекции:

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

#### 1.13.2 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.

## 2. Системы передачи данных.

### ***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).

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.

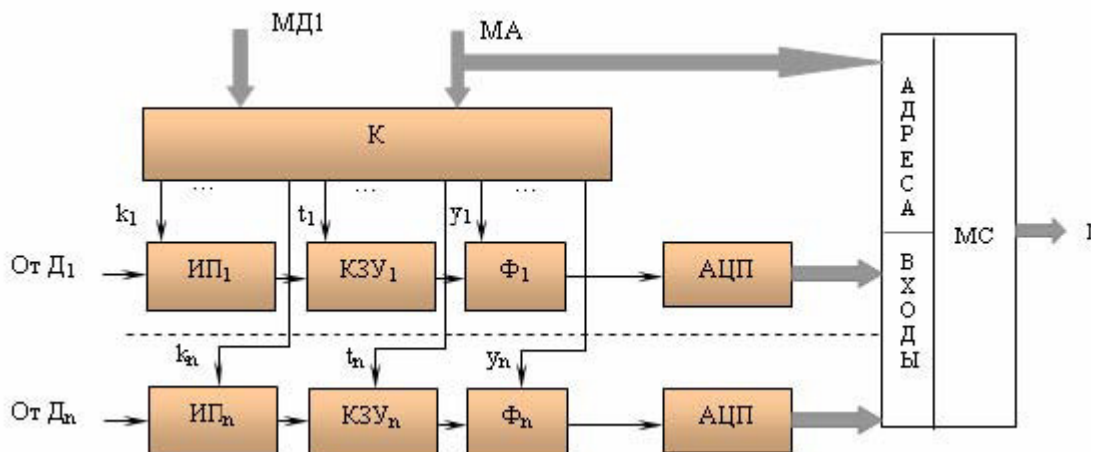


Рис. 8.2 Структурная схема устройства связи с объектом с параллельным вводом сигналов

Контроллер канала устройства связи с объектом синхронизирует работу параллельных каналов, в частности управляет коммутаторами с запоминанием  $KЗУ_i$  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  $KЗУ_i$  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.

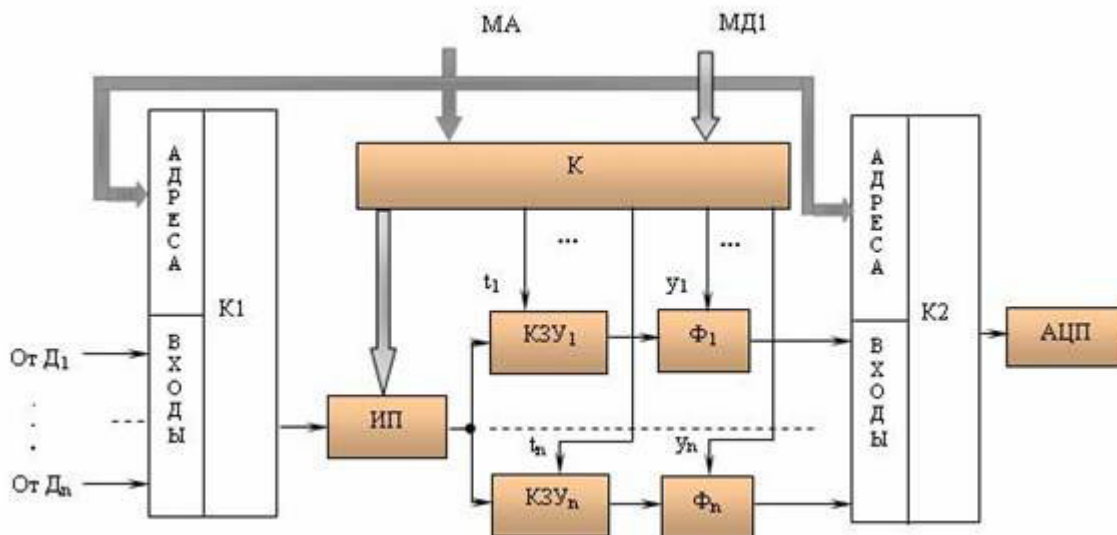


Рис. 8.3 Структурная схема устройства связи с объектом с последовательным вводом сигналов от аналоговых датчиков

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

#### 14 Лекция №14 ( 2 часа).

**Тема:** «Технические средства обработки, хранения информации и выработки командных воздействий».

##### 1.14.1 Вопросы лекции:

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

##### 1.14.2 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.

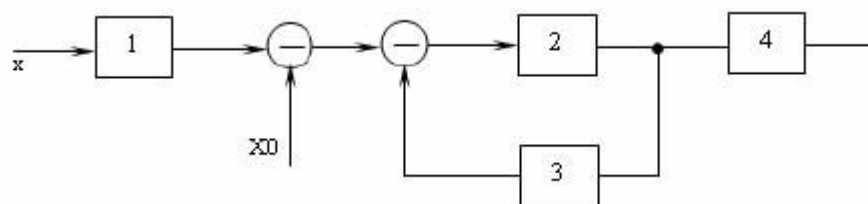


Рис. 10.1

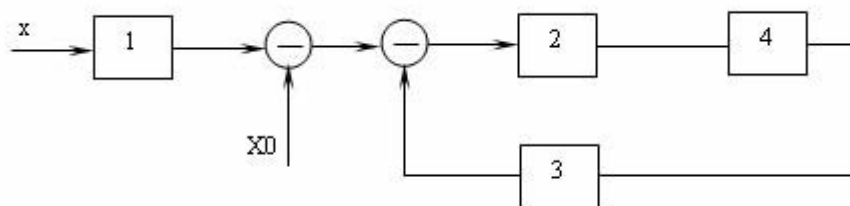


Рис. 10.2

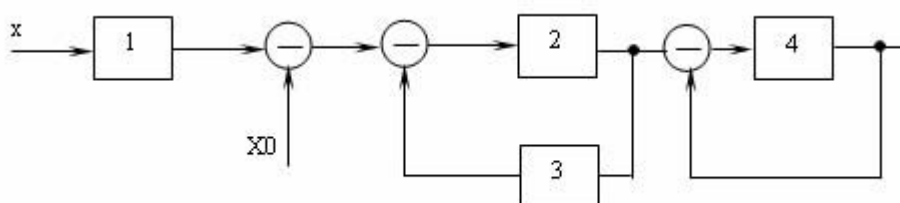


Рис. 10.3

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.

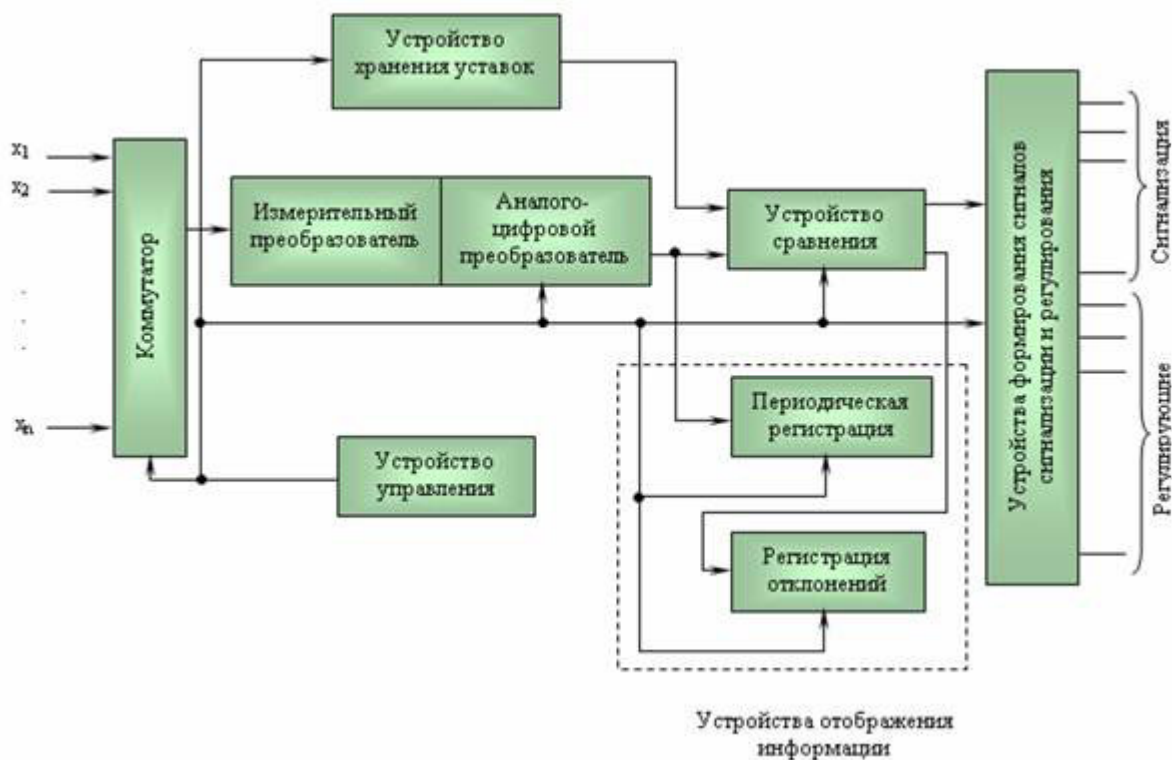


Рис. 10.4 Типовая структура установки централизованного контроля и регулирования

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 ТОУ 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.



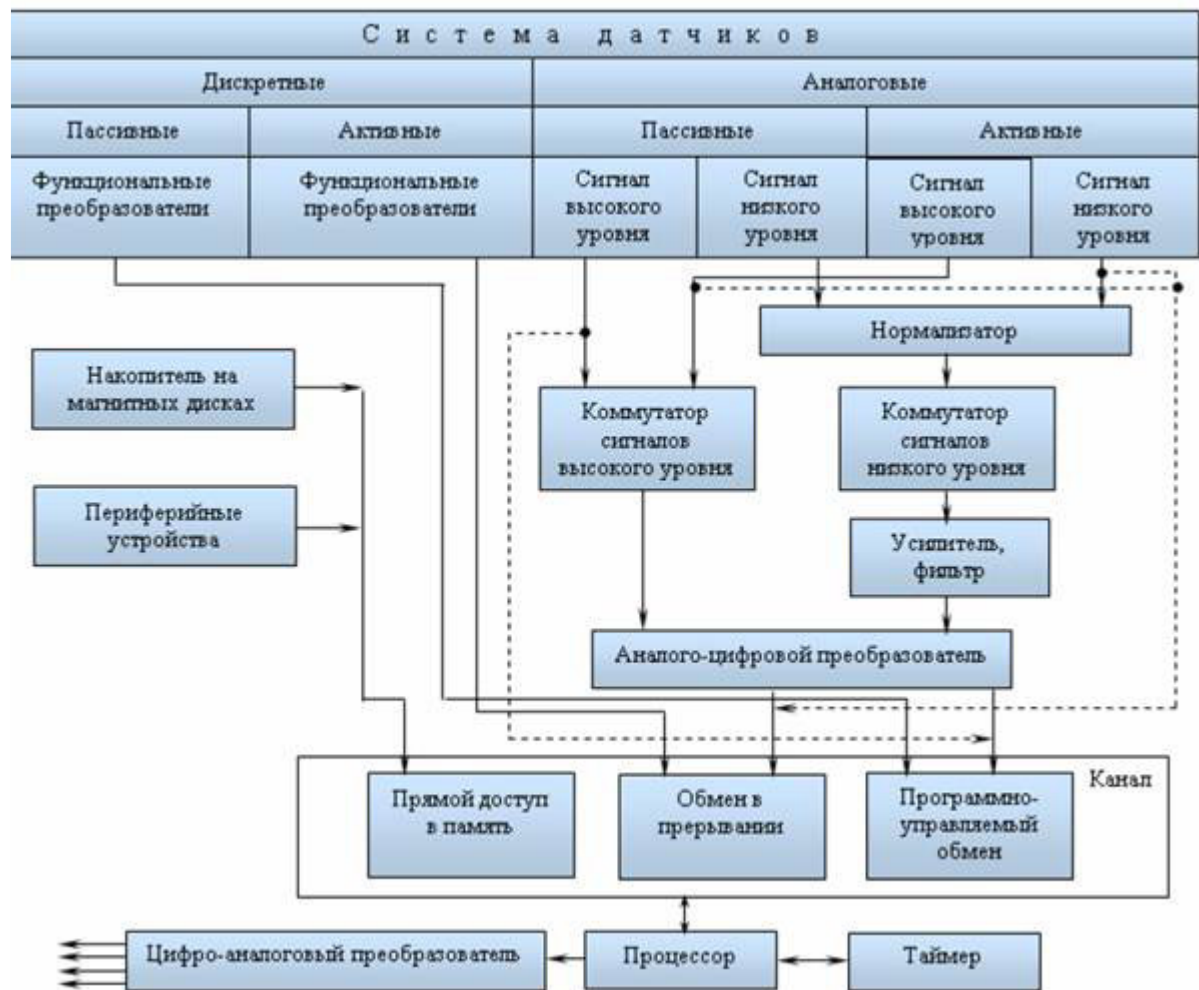


Рис. 11.1 Функциональная схема ИУВК

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.

## **15 Лекция №15 ( 2часа).**

**Тема:** «Специализированные ЭВМ и вычислительные комплексы

### **1.1.1 Вопросы лекции:**

1. Управляющие ЭВМ.
2. Управляющие вычислительные комплексы.

### **1.1.2 Краткое содержание вопросов:**

1. Управляющие ЭВМ.

Особенности функционирования ЭВМ, включенных в контур управления.

Требования, предъявляемые к ЭВМ при использовании ее в составе АСУ и при использовании ее в вычислительном центре, существенно отличаются. При использовании ЭВМ на вычислительном центре решаемые задачи весьма разнообразны и обычно неизвестны заранее. Объем работы вычислительного центра, как правило, лимитируется производительностью машин, организацией прохождения работ и обслуживания программистов. Наиболее экономичны в этом случае технические решения, обеспечивающие минимальную удельную стоимость решения задач.

ЭВМ, специально предназначенные для контроля и управления технологическими процессами, называют управляющими вычислительными машинами (УВМ). УВМ представляют собой цифровые вычислительные устройства, составляющие часть автоматизированной или автоматической системы управления, включающие в себя устройства связи с объектом и предназначенные для приема информации от измерительных устройств, местных (локальных) автоматизированных систем, устройств защиты и блокировки, а также других источников информации; переработки информации по программе, определяемой заданным алгоритмом управления в реальном масштабе времени; выдачи результатов обработки информации оператору на исполнительные устройства и в другие системы управления.

В АСУ ТП устройства связи УВМ с датчиками и исполнительными органами чаще всего составляют большую часть электронного оборудования, иногда в несколько раз превосходящую оборудование УВМ. Номенклатура этих устройств, включающих все необходимые средства преобразования, коммутации, согласования, достаточно велика, а число их в каждой АСУ ТП различно. Поэтому в состав УВК входят унифицированные схемно-конструктивные исполнения в виде агрегатных модулей.

Для работы в качестве центральной части АСУ любая УВМ должна иметь универсальную структуру и обладать некоторыми дополнительными техническими особенностями, связанными с автоматическим приемом и обработкой информации, поступающей в процессе управления и выдачи управляющих воздействий непосредственно на исполнительные устройства объекта управления или оператору. В состав УВМ должны входить устройства, обеспечивающие ее непосредственную связь с управляемым технологическим процессом, а также связь оператора с УВМ и технологическим оборудованием для наблюдения за протеканием производственных процессов и при необходимости для вмешательства в процесс управления (рис.12.1 ).

УВМ работает с большим числом источников и потребителей информации, каждый из которых работает, как правило, асинхронно, т. е. информация от объектов управления и запросы на обслуживание поступают в произвольные моменты времени. Асинхронность поступления заявок приводит к тому, что в условиях ограниченного ресурса УВМ формируется очередь на обслуживание. Так как УВМ работает в реальном масштабе времени, а информация в системе имеет различную ценность и достоверность, обслуживание заявок УВМ является приоритетным. Высший приоритет дается заявкам, которые должны быть отработаны не позднее чем за определенный интервал времени во избежание потери информации или аварии.

С целью приоритетного обслуживания заявок в УВМ организуется система прерываний, под которой следует понимать совокупность аппаратных и программных средств, обеспечивающих переключение процессора с выполняемой программы на

другую, имеющую более высокий приоритет, при этом сохраняется возможность возврата к прерванной программе. Прерывание может быть организовано как по внешним признакам, формируемым оператором или машиной, так и по внутренним признакам, большинство из которых формируется в результате контроля неисправности системы управления.

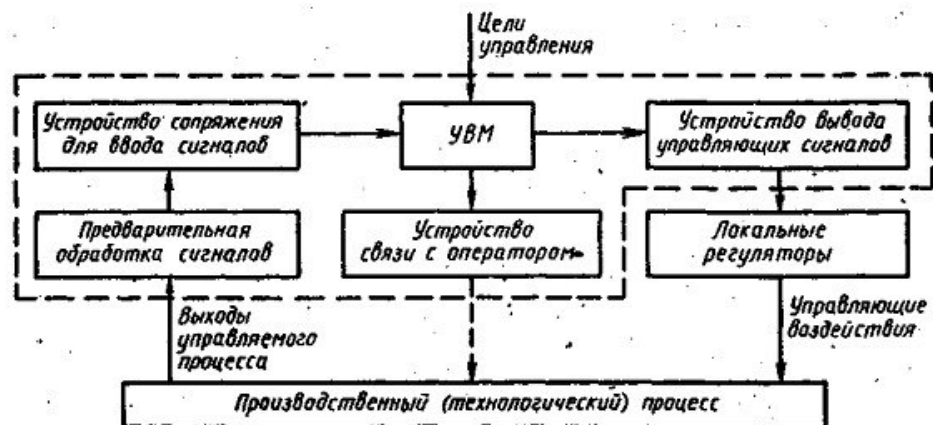
Любой алгоритм, предназначенный для использования в системе управления, должен разрабатываться с учетом того, что управляющие сигналы от УВМ должны поступать не только в нужное место, но и в ограниченные отрезки времени, определяемые скоростью протекания управляемого процесса. УВМ должна работать в темпе, задаваемом измеряемыми физическими параметрами, характеризующими производственный или технологический процесс, и органами управления, с которыми она связана и с которыми непрерывно взаимодействует, т. е. УВМ должна работать в реальном масштабе времени. Реальное время в УВМ учитывается таймером. Обычно УВМ обслуживает одновременно много пользователей и решает много задач:

регистрирует поступающую от многочисленных датчиков измерительную информацию и обрабатывает ее по соответствующим программам;

выдает управляющие сигналы на различные исполнительные устройства;

решает экономические и бухгалтерские задачи и т. п.

Такой режим работы называют режимом разделения времени. Для его организации УВМ должна иметь достаточно большие объемы памяти и большое быстродействие. Режим разделения времени выгоден экономически, так как в этом случае резко повышается эффективность использования УВМ за счет обеспечения более полной ее загрузки и лучшего использования ресурсов.



**Рис. 5.10. Упрощенная структурная схема АСУ**

Разделение машинного времени в УВМ осуществляется программно; при этом одни и те же устройства системы предоставляются всем пользователям в соответствии с установленным приоритетом. В этом случае за счет быстрого решения задач по запросам пользователей у них создается впечатление, что они могут работать с ЭВМ одновременно.

Для реализации программного разделения времени в УВМ должна быть предусмотрена возможность при необходимости прерывания текущей программы при поступлении срочного запроса (указания оператора, сигналов от датчиков или выработанных самой УВМ). Машина временно прерывает работу, запоминая место текущей программы, где произошло прерывание, и переходит к выполнению другой программы, соответствующей срочному запросу. После того как запрашиваемая программа выполнена и других заявок нет, УВМ возвращается к прерванной текущей программе.

Технические средства УВМ, работающей в режиме разделения времени, должны обеспечивать:

одновременное хранение в памяти нескольких программ;

допускать параллельную работу процессора и внешних устройств;  
организацию прерывания программ, а ее программное обеспечение — планировать порядок выполнения задач;

распределять ресурсы УВМ;

производить защиту памяти от несанкционированного вмешательства одной задачи в другую при их параллельной работе и выполнять некоторые другие функции.

Требования, предъявляемые к УВМ, работающей в контуре управления, по надежности определяются необходимой надежностью системы в целом, исходя из цены отказа того или иного компонента АСУ.

Структурная организация УВМ.

Расширение сферы применения ЭВМ и в особенности использования ее в АСУ ТП (для обработки информации в области управления, планирования, учета и т. п.) привели к включению в состав машины большого комплекса разнообразных периферийных (внешних) устройств для ввода информации, ее запоминания, и хранения, регистрации и отображения. Конкретные условия применения предъявляют различные требования в отношении состава периферийных устройств, а также объемов оперативной и внешней памяти, числа каналов прерывания и т. п.

Это привело к тому, что при создании вычислительной техники концепцию “вычислительные машины с фиксированным составом оборудования”, где главное место занимало само устройство обработки информации, сменила концепция «агрегатированной» вычислительной системы с переменным составом оборудования”, который определяется функциями, выполняемыми системой. При таком подходе отдельные функциональные устройства выполняют в виде агрегатов, которые в нужной номенклатуре и количестве объединяют в вычислительную систему.

2. Управляющие вычислительные комплексы.

Сложность современных вычислительных систем привела к понятию “архитектура вычислительной системы” (или логическая организация системы), охватывающей комплекс вопросов ее построения, существенных в первую очередь для потребителя, интересующегося главным образом возможностями системы, а не деталями ее технического использования.

Существенное место в агрегатированных вычислительных системах занимают специальные устройства — унифицированные каналы обмена информацией, допускающие подключения, в нужном количестве периферийных устройств. Заложенный агрегатный принцип в УВМ позволяет компоновать путем проектирования достаточно гибкую по структуре и функциональным возможностям УВК, удовлетворяющую требованиям потребителя, изменять систему в процессе ее эксплуатации при расширении или изменении решаемых задач, модернизировать систему.

Для реализации информационных и управляющих функций в АСУ ТП в УВК должны входить:

процессор — устройство, выполняющее заданные программой преобразования информации и осуществляющее управление всем вычислительным процессом и взаимодействием агрегатов вычислительной системы;

наращиваемые постоянные и оперативные запоминающие устройства для хранения информации, программ управления и т. п.;

возможность работы с накопителями большой емкости и обмена с УВМ других классов;

набор агрегатных модулей с развитой системой ввода-вывода;

развитая система приоритетного прерывания программ, позволяющая совмещать выполнение операций ввода-вывода со счетом;

счетчик реального времени (таймер);

развитая система аппаратно-программного контроля;

развитая система команд, обеспечивающая удобство в программировании;

аппаратно-программные средства для выполнения арифметических операции с относительно высокой точностью и высокой производительностью по выполнению операций ввода-вывода и логических операций.

На рис.12.2 изображена общая структурная схема системы связи УВМ с объектом управления. Всю номенклатуру агрегатных модулей УВМ условно можно разделить на следующие группы:

агрегатные модули для компоновки управляющего вычислительного комплекса (УВМ);

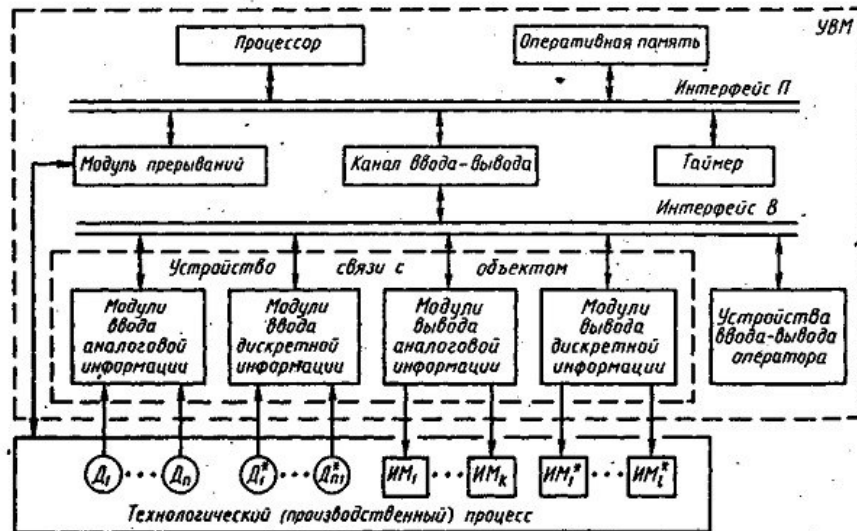


Рис. 5.11. Общая структура системы связи УВМ с объектом управления

агрегатные модули для связи с объектом управления;  
устройства ввода-вывода и внешней памяти.

Под вычислительным комплексом понимают группу соединенных между собой агрегатных модулей, которая выполняет по программе прием, арифметическую и логическую обработку, хранение и выдачу информации. Вычислительный комплекс является обязательной составной частью любой вычислительной системы.

Обмен информацией между отдельными устройствами УВК осуществляется посредством интерфейсов. Интерфейсы системы связи рассчитаны на выполнение по командам обмена данными между устройствами в цифровой форме и содержат для этого необходимый состав цепей. Под интерфейсом понимают 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.

В систему связи УВМ с объектом управления входят два интерфейса: стандартный В ввода-вывода и внутренний П, обслуживающий процессор УВМ. Управление работой интерфейса В, к которому подсоединены все устройства связи УВМ с объектом управления, осуществляет канал ввода-вывода. Интерфейс П обеспечивает обмен информацией между процессором, оперативной памятью и каналом ввода-вывода.

К интерфейсу П подсоединены блок внешних прерываний процессора по сигналам от датчиков АСУ ТП и таймер, формирующий сигналы для организации циклов обработки информации и управления объектом.

Функциональная схема УВК приведена на рис. 12.3. Все источники и потребители информации в АСУ ТП подразделяют на пассивные, работа которых инициируется процессором, и инициативные, которые по собственной инициативе на основании анализа состояния технологического процесса и технических средств, включая УВК, выставляют запрос на необходимые им ресурсы АСУ ТП. Признак пассивности или инициативности

устройства задается при генерации операционной системы УВК. В связи с этим в УВК реализуются обмены программно-управляемый без прерывания, программно-управляемый в режиме прерывания, в режиме прямого доступа к памяти. Каждый из режимов обмена имеет характерные особенности и отличается временем доступа.

Реализация обмена в УВК осуществляется каналом ввода-вывода, который всегда можно рассматривать как обособленное логическое устройство управления обменом. В УВК, как правило, реализуется так называемый встроенный канал, в котором функции канала распределены между процессором, контроллерами периферийных устройств и специализированными схемами. В современных УВК обмен выполняется специализированным устройством, которое называют контроллером или каналом прямого доступа к памяти. Два других вида обмена реализуются процессором, контроллерами периферийных устройств и специализированными устройствами, сложность которых зависит от типа УВК. Последнее обусловлено тем, что УВК в АСУ ТП, как правило, не выполняет сложных вычислений с высокой точностью, а является периферийно ориентированной ЭВМ, архитектура которой ориентирована на реализацию интенсивного обмена.

Рассматривая канал как элемент системы управления, необходимо отметить, что канал характеризуется временем доступа  $t_k$ , которое зависит от режима обмена и состояний управляемого процесса. В АСУ ТП последовательность выполнения задач и период их решения зависит от множества факторов и не является постоянным. Только в частном случае, например при прямом цифровом управлении одним динамическим объектом, последовательность, задач и период их решения могут быть заданными и не изменяющимися в процессе нормальной работы.

Решение задач с переменным периодом дискретности зависит от состояния управляемого процесса загрузки и состояния технических средств, и является характерной особенностью АСУ ТП, которую нужно учитывать при проектировании.

Система датчиков измеряет аналоговые и дискретные сигналы.

Аналоговый сигнал — сигнал, информационные параметры которого могут принимать в определенных пределах любые значения. Дискретный сигнал — сигнал, информационные параметры которого могут принимать только некоторые из конечной совокупности значений. Цифровой сигнал — дискретный сигнал, в котором значениям параметра соответствуют определенные кодовые слова, образующие последовательность знаков.

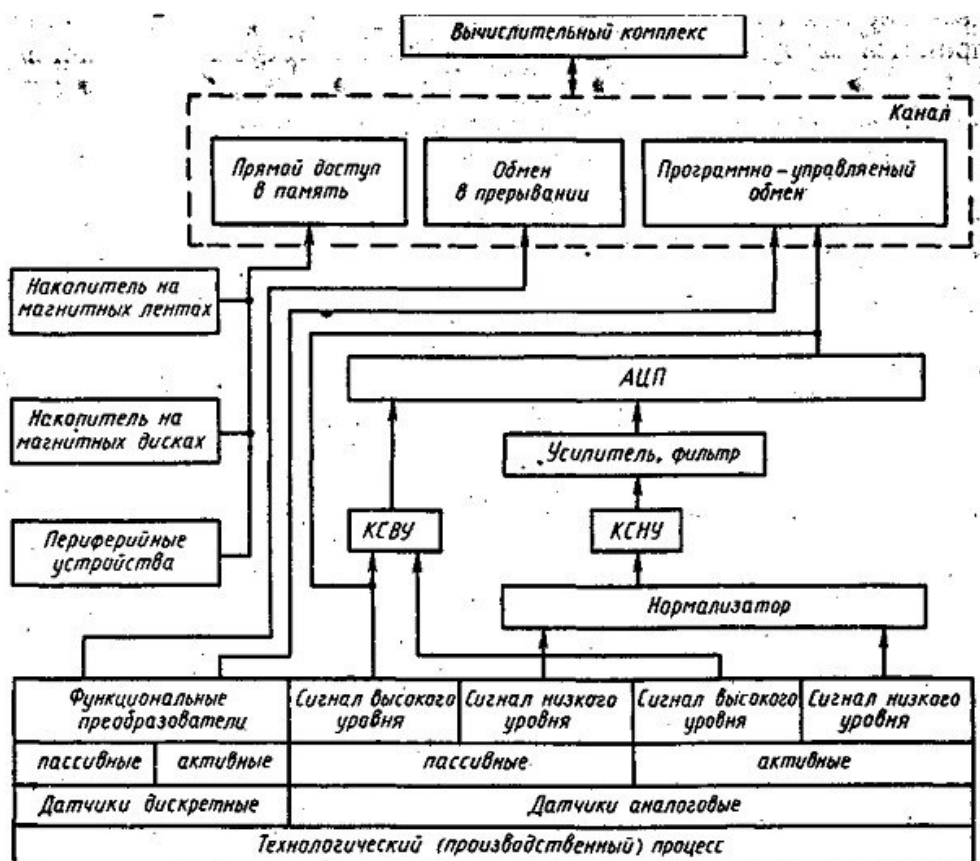


Рис. 5.12. Функциональная схема ВВК:

АЦП — аналого-цифровой преобразователь; КСВУ — коммутатор сигналов высокого уровня; КСНУ — коммутатор сигналов низкого уровня

Подсистема аналогового ввода. Аналоговые подсистемы значительно различаются по составу и конфигурации. Однако входящие в них технические средства обычно можно классифицировать по выполненным функциям.

Переходное устройство. Сигналы датчиков передаются на аналоговые входы по одиночным проводам или по парам проводов, которые могут быть экранированы. При однопроводной передаче цепь сигнала оканчивается линией общего заземления, обслуживающей несколько датчиков. Сигнальные провода должны оканчиваться в точке сопряжения с аналоговой подсистемой. Переходными устройствами, предназначенными для этой цели, могут служить клеммные колодки, кабельные разъемные или специальное оборудование для каждого типа сигнала.

Нормализация сигнала, т. е. модификация сигнала, связана с фильтрацией, ослаблением, смещением уровня, линейной или нелинейной компенсацией и преобразованием тока в напряжение.

Коммутация. Коммутатор состоит из электронного или электромеханического переключателя, последовательно подключающего каждый отдельный вход. Переключатели управляются УВМ или специальными логическими схемами при посылке входных сигналов в аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Таким образом, один АЦП может одновременно обслуживать несколько входных сигналов. Коммутация осуществляется до или после усиления.

Усиление. Многие сигналы датчиков являются сигналами низкого уровня, а большинство АЦП работает в диапазоне 5 или 10В. Поэтому усиление сигналов низкого уровня необходимо, если необходимо эффективно использовать разрешающую способность АЦП. Обычно коэффициент усиления по напряжению колеблется от 100 до 1000. Коэффициент усиления может быть зафиксирован конструктивно либо выбран с



помощью ручного переключателя или программы УВМ. Значение коэффициента может также регулироваться автоматически по специальной функции.

Аналого-цифровое преобразование.

Задача АЦП — обеспечить цифровое представление аналогового сигнала. Скорость преобразований колеблется от единиц до миллионов преобразований в секунду. Значения аналогового сигнала регулярно считываются и путем квантования преобразуются в цифровой сигнал, который поступает на ЭВМ в виде числовой последовательности или последовательности импульсов.

АЦП устанавливает соответствие между входным аналоговым сигналом  $U_{вх}$  (обычно напряжением) и выходным двоичным кодом. Входной сигнал может принимать неограниченное число значений в пределах диапазона изменения от  $U_{min}$  до  $U_{max}$ . Число различных значений цифрового кода определяется разновидностью преобразователя и ограничено величиной  $2^n$ , где  $n$  — число разрядов.

Основные методы аналого-цифрового преобразования: последовательного счета; поразрядного уравнивания.

С момента поступления сигнала счетчик подсчитывает тактовые импульсы до тех пор, пока аналоговый эквивалент двоичного кода — сигнал  $U_{вых}$  не превысит величину  $U_{вх}$ . В этот момент, выявляемое компаратором, поступление тактовых импульсов на счетчик прерывается и параллельный код счетчика может быть — считан как результат преобразования. После сброса счетчика в нуль и появления нового стартового сигнала процесс возобновляется. Время преобразования АЦП такого типа является переменным и зависит от уровня входного сигнала:  $t_{пр} = 2^n \cdot T_T$ , где  $n$  — разрядность;  $T_T$  — период следования тактовых импульсов.

В преобразователе поразрядного уравнивания вместо счетчика используют сдвиговый регистр, режим которого зависит от специальной управляющей логической схемы. В процессе преобразования в регистр, начиная со старшего разряда, заносятся единицы, после чего схема на основании информации с компаратора либо сохраняет эту единицу в данном разряде, либо стирает ее. После этого процесс повторяется, но уже со следующим разрядом регистра. Время преобразования в таком АЦП всегда одинаково и определяется разрядностью преобразования:  $t_{пр} = n \cdot T_T$ . Аналоговые сигналы могут быть сигналами низкого и высокого уровня. Аналоговые и дискретные датчики могут быть либо пассивными, либо инициативными. Отдельные датчики могут быть при решении одних задач пассивными, а при решении других — инициативными. Характеристики измеряемого сигнала и признак инициативности определяют совокупность устройств и алгоритм преобразования измеряемого сигнала в машинное слово.

Преобразование аналогового сигнала в машинное слово включает в себя совокупность операций, которая образуется из операций нормализации, фильтрации, коммутации, аналого-цифрового преобразования и записи полученного кода в буферный регистр. Каждая из операций характеризуется временем преобразования  $t$  и точностью выполнения  $\delta$ . Время выполнения рассматривается как запаздывание. В зависимости от решаемых задач координаты  $X_i = f(X)$  рассматриваются либо как обобщенные характеристики тракта преобразования, либо учитывается влияние каждой из составляющих этих координат.

Аналогичными показателями характеризуется и тракт ввода дискретных сигналов. Алгоритм преобразования дискретного сигнала включает в себя операцию функционального преобразования информационного параметра кода датчика в машинное слово. 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 определяется измеряемым сигналом и характеристиками используемого датчика.

Подсистема цифрового ввода. Основная функция подсистемы цифрового ввода УВМ — восприятие событий, возникающих в технологическом (производственном) процессе или в оборудовании, связанном с управляющим вычислительным комплексом. Обычно эти события имеют характер “да—нет” или же преобразуются в двоичный код с помощью соответствующих устройств. С функциями подсистемы цифрового ввода связаны две основные характеристики: форма входного сигнала (в виде напряжения, силы тока или изменения сопротивления) и параметр сигнала, представляющий интерес при контроле состояния процесса (наличие сигнала, его длительность или число событий, возникающих за определенный период времени). Поэтому для выполнения своей основной функции подсистема должна содержать большое число разнообразных модулей, воспринимающих сигналы различной формы, связанные с двоичными параметрами производственного процесса.

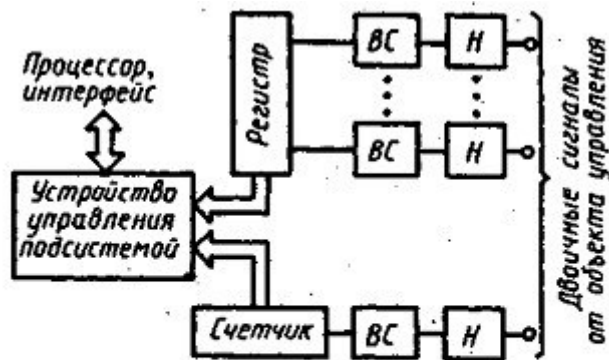
На рис.12.4 показана общая конфигурация и основные элементы подсистемы цифрового ввода. Связь подсистемы с процессором осуществляется непосредственно или с помощью интерфейсов. Устройство управления обеспечивает поддержание связи между подсистемой и процессором. Оно выполняет также декодирование адресов и другие функции, связанные с восприятием цифровых сигналов. Для снижения вычислительной нагрузки процессора на устройство управления может быть возложена задача осуществления специальных функций, таких, как сравнение, организация прерывания и др.

Для подсчета многократно повторяющихся событий требуется счетчик. Число двоичных разрядов счётчика равно разрядности процессора. Например при 16-разрядном процессоре емкость счетчика равна 2<sup>16</sup>.

При необходимости получения реакции на поступление одиночных или многоразрядных кодовых комбинаций применяют запоминающий регистр для временного хранения полученных данных, Число двоичных разрядов регистра равно разрядности процессора, Например, при 16-разрядном процессоре объем регистра составляет 16 бит.

Сопряжение между сигналами от объекта и логическими сигналами, необходимыми для управления состояниями регистра или счетчика, заключается в изменении уровня сигналов и (или) их преобразования. Входные сигналы, представляющие состояние объекта, чаще имеют вид уровня напряжения, силы тока или положения контакта выключателя. Однако воспринимающие схемы обычно рассчитаны на напряжение. Преобразование силы тока в напряжение можно осуществить с помощью шунтирующего резистора. Аналогично для преобразования сигнала, представленного состоянием контакта, в напряжение последовательно с контактом включают источник напряжения и резистор ограничения силы тока.

Воспринимающая схема представляет собой пороговое устройство, уровень выходного сигнала которого соответствует единице, если выходное напряжение превышает заданное значение. В противном случае выходной сигнал соответствует нулю.



**Рис. 5.13. Конфигурация подсистемы цифрового входа:**  
**ВС** — воспринимающая схема; **Н** — нормализатор

Например, подсистема может удерживать контакт в замкнутом состоянии в течение заданного интервала времени, либо замыкать контакт заданное число раз или вырабатывать на выходе заданное число импульсов напряжения.

Основная функция цифрового вывода — функция ключа, который может управлять источником напряжения или тока с целью передачи в нагрузку сигнала в виде уровня напряжения или силы тока. Обычно напряжение, управляемое устройствами цифрового выхода, совместимо со стандартными уровнями сигналов логических схем. Эти выходные сигналы часто используют для управления процессом или технологическим оборудованием, воспринимающим стандартные логические уровни сигналов.

На рис.12.5 показана общая организация подсистемы цифрового вывода. Подсистема непосредственно соединена с процессором или интерфейсом. В последнем случае устройство логического управления обеспечивает также декодирование адреса и кода операции, синхронизацию и другие функции управления, например определение длительности выходных импульсов.

Управление точками цифрового вывода обычно осуществляется на групповой основе. Для облегчения обращения с данными число выходных точек в каждой группе берется равным числу двоичных разрядов в машинном слове или в его части. Например, если УВМ использует 16-разрядные слова, то число выходных точек в группе обычно равно 8 или 16. Число групп, управляемых логическим устройством управления подсистемы, определяется общей структурой системы. Основными факторами, обуславливающими выбор числа групп на одно устройство управления подсистемы, являются структура адресации, задаваемая форматом команды, и выбранные конструктивные решения.

Обычно каждый двоичный разряд выходных цифровых данных имеет самостоятельный смысл, т. е. каждый бит выходного слова может использоваться для управления каким-либо параметром процесса. Иногда данные, представляемые одной группой выходов, имеют смысл целого слова. В частности, это имеет место, когда группа цифровых выходов используется для передачи данных периферийному печатающему устройству или устройству визуального вывода.

На рис. 12.5 показаны три варианта выходных схем: выходы непосредственно от логических схем, выходы с ключей на транзисторах и релейные выходы. Возможны также и другие варианты, например ключи на тиристорах и пр.

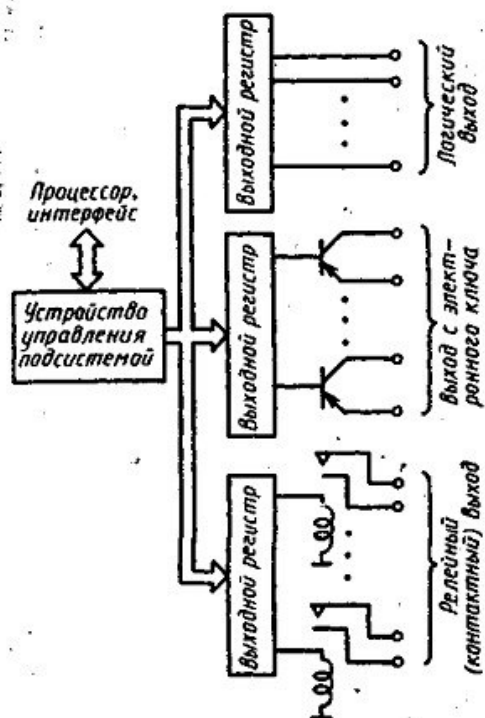


Рис. 5.14. Конфигурация подсистемы цифрового вывода

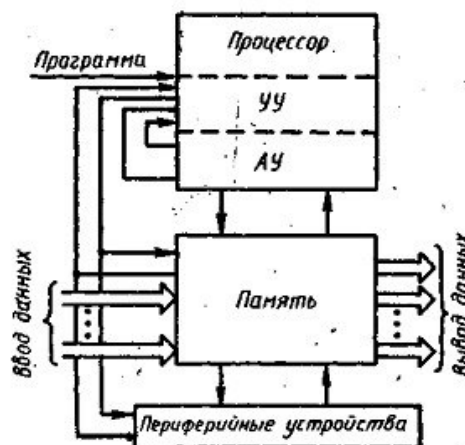


Рис. 5.15. Схема функционирования УВМ:

УУ — устройство управления; АУ — арифметическое устройство

УВМ для осуществления управления процессом должна выполнять следующие функции.

1. Собрать важную для хода технологического процесса информацию, которая представляет собой последовательность цифр и других условных знаков, понятных УВМ. Так как УВМ работает с цифрами, все сигналы должны быть преобразованы в последовательность цифр. Эту операцию осуществляет в УВМ АЦП.

2. УВМ накапливает данные и хранит их для последующей обработки. Снимая характеристики процесса и регистрируя структурные параметры, УВМ может построить математическую модель процесса.

3. УВМ может производить расчеты, используя введенные в нее или накопленные в ней данные, например, рассчитывать оптимальные значения управляющей величины. Эти расчеты не должны отставать от реального процесса, т. е. УВМ должна работать в реальном масштабе времени.

4. УВМ может выдавать некоторые данные, например оптимальное значение управляющей величины. Эти данные должны быть преобразованы снова в аналоговый сигнал с помощью цифроаналогового преобразователя, чтобы их можно было использовать непосредственно в процессе управления.

Однако УВМ не в состоянии производить вычисление по собственной инициативе. Для этого она должна получить команду от своего устройства управления. Так как устройство управления не знает, что и как УВМ должна считать, то следует ввести в нее программу вычислений, составленную на понятном машине языке (рис. 12.6).

Программа — упорядоченная последовательность указаний, по которым производятся вычисления. В программе, например, может быть предписано: рассчитать оптимум по указанному методу. Такое предписание называют алгоритмом.

## 16 Лекция №16 ( 2 часа).

**Тема:** «Промышленные (индустриальные); микро-ЭВМ и микро-УВК».

### 1.16.1 Вопросы лекции:

1. Промышленные компьютеры. Микро-ЭВМ.
2. Микро-УВК.

### 1.16.2 Краткое содержание вопросов:

#### 1. Промышленные компьютеры. Микро-ЭВМ.

Под управлением понимают целенаправленное воздействие на объект, в результате которого он переходит в требуемое состояние. Объектом будем называть ту часть окружающей среды, на которую можно воздействовать с определенной целью. Состояние  $Y$  объекта можно описать параметрами, характеризующими его в каждый момент времени. Объект управления существует не просто сам по себе, а в окружающей его среде, которая постоянно воздействует на его состояние. Эти воздействия окружающей среды можно разделить на три группы 1) Объективно существующие и наблюдаемые (вход объекта  $X$ ). 2) управляющие воздействия, с помощью которых происходит управление объектом (управляющий вход  $U_0$ ) 3) возмущения  $E$  (не измеряемые параметры среды, и всякого рода случайные изменения объекта). Управляющие воздействия объекта  $U_0$  подаются на объект с определенной целью. Цель управления – это требуемое состояние или последовательность состояний объекта во времени. Если цель сформулирована иначе, то ее надо перевести на язык состояний объекта управления. Использование микроэвм в системах управления имеет ряд особенностей по сравнению с использованием ее в качестве универсальной микроэвм. Универсальные микроэвм, предназначенные для научно технических расчетов или обработки информации, ориентированы в первую очередь на взаимодействие с пользователем. Задача таких ЭВМ обрабатывать данные по запросу пользователя. Поэтому в универсальной микроэвм через блоки сопряжения подключаются блоки ввода вывода информации. (примеры) Основная же задача управляющей ЭВМ состоит в том, чтобы на основании информации, получаемой от датчиков, вычислить и передать на исполнительные механизмы управляющие воздействия. Как правило, управляющие микроэвм встраиваются в оборудование и настраиваются на конкретную область применения. Поэтому работают они уже по готовым программам, которые хранятся в ПЗУ. В состав управляющей микро ЭВМ обязательно входят контроллеры для приема данных от датчиков состояния среды и объекта, а также для передачи управляющих воздействий на исполнительные механизмы. В этих блоках данные преобразуются к форме, которую понимает микроэвм. Микроэвм работает с данными в цифровом виде, датчики выдают ее в аналоговом, следовательно, требуется двустороннее цифроаналоговое преобразование, при котором каждому измеренному значению соответствует определенный цифровой код, с которым и работает микроэвм. Отличительной особенностью работы управляющих микроэвм является выполнение ими всех операций в реальном масштабе времени. Термин реальное время используют в тех случаях, когда требуется оперативно реагировать на входные сигналы, причем задержка реакций должна быть конечной и не превышать определенного значения. В различных приложениях этот термин определяется по-разному. В управляющих микроэвм вычисление управляющих воздействий за время, больше требуемого, приравнивается к получению неправильного результата, так как ЭВМ должна оперативно управлять объектом. При работе микроэвм в составе системы управления можно решать следующие задачи:

Принимать информацию от датчиков о состоянии окружающей среды объекта.

Расчитывать в реальном времени управляющие воздействия и передавать их на исполнительные механизмы

Отображать информацию о текущем состоянии системы **оператору** на дисплее

Принимать и обрабатывать команды **оператора** по изменению условий процесса управления.

Передавать и принимать информацию от других микроэвм. Особенностью управляющих микроэвм можно считать повышенное требование к надежности программного обеспечения, так как отказ может привести к серьезным последствиям в работе реальных устройств.

Рассмотрим структуру микропроцессорной системы управления. Устройство управления в данной системе включает в себя управляющую микроэвм, но в общем случае может содержать вычислительную систему. Алгоритмы управления реализованы в виде программ, хранящихся в памяти ЭВМ. Интерфейсные блоки предназначены для связи с объектом управления (главными и вспомогательными приводами и электроавтоматикой станка) и периферийным оборудованием; пульт **оператора** для выдачи команд в микроэвм на специальном языке. Измерительные контроллеры преобразуют и выдают в микроэвм в цифровом виде показания датчиков о состоянии объекта и среды. В состав интерфейсных блоков связи и контроллеров могут входить микропроцессоры, в этом случае процессор освобождается от рутинных функций по вводу/выводу и предварительной обработки информации.

## **2. Микро-УВК.**

При построении систем управления сложными объектами такой объект разбивается на части и строится система управления аналогичная этой, затем соединяется через центральную ЭВМ.

Для управления внешними устройствами приходится выполнять на микроэвм сложную последовательность действий, связанных с проверкой различных условий и передачей данных. Задачи передачи данных требуют быстрого выполнения логических операций в многократно выполняющихся алгоритмах, не меняющихся в процессе работы. Наиболее эффективно в качестве аппаратной реализации таких алгоритмов использовать микроконтроллеры – спец. управляющие микро ЭВМ, которые работают в реальном масштабе времени по некоторым фиксированным рабочим программам, размещенных в ПЗУ. Использование микроконтроллеров для управления внешними устройствами разгружает центральный процессор микроэвм от излишне детального управления. Наиболее распространены микроконтроллеры трех типов. 1) Ориентированные на реализацию алгоритмов логического типа и предназначенные для замены релейных и логических схем электроавтоматики командопаратов. 2) ориентированные на реализацию алгоритмов автоматического регулирования аналоговых и аналого-дискретных технологических процессов и предназначенные для замены различных аналоговых и цифровых регуляторов. 3) Ориентированные на реализацию спец. алгоритмов управления и предназначен для управления игровыми автоматами, светофорами и т.д.

## **17 Лекция №17 ( 2 часа).**

**Тема:** «Программируемые компьютерные контроллеры».

### **1.17.1 Вопросы лекции:**

1. Рабочие станции
2. Программируемые логические контроллеры

### **1.17.2 Краткое содержание вопросов:**

#### **1. Рабочие станции**

Слово "контроллер" произошло от английского "control" (управление), а не от русского "контроль" (учет, проверка). Контроллером в системах автоматизации называют устройство, выполняющее управление физическими процессами по записанному в него алгоритму, с использованием информации, получаемой от датчиков и выводимой в исполнительные устройства.

Первые контроллеры появились на рубеже 60-х и 70-х годов в автомобильной промышленности, где использовались для автоматизации сборочных линий. В то время компьютеры стоили чрезвычайно дорого, поэтому контроллеры строились на жесткой логике (программировались аппаратно), что было гораздо дешевле. Однако перенастройка с одной технологической линии на другую требовала фактически изготовления нового контроллера. Поэтому появились контроллеры, алгоритм работы которых мог быть

изменен несколько проще - с помощью схемы соединений реле. Такие контроллеры получили название программируемых логических контроллеров (ПЛК), и этот термин сохранился до настоящего времени. Везде ниже термины "контроллер" и "ПЛК" мы будем употреблять как синонимы.

Немного позже появились ПЛК, которые можно было программировать на машинно-ориентированном языке, что было проще конструктивно, но требовало участия специально обученного программиста для внесения даже незначительных изменений в алгоритм управления. С этого момента началась борьба за упрощение процесса программирования ПЛК, которая привела сначала к созданию языков высокого уровня, затем - специализированных языков визуального программирования, похожих на язык релейной логики. В настоящее время этот процесс завершился созданием международного стандарта ИЕС (МЭК) 1131-3 [[Bertocco](#)], который позже был переименован в МЭК 61131-3 [[ИЕС](#)]. Стандарт МЭК 61131-3 поддерживает пять языков технологического программирования (см. раздел "[Программное обеспечение](#)"), что исключает необходимость привлечения профессиональных программистов при построении систем с контроллерами, оставляя для них решение нестандартных задач.

В связи с тем, что способ программирования является наиболее существенным классифицирующим признаком контроллера, понятие "ПЛК" все реже используется для обозначения управляющих контроллеров, которые не поддерживают технологические языки программирования.

С появлением мощных и дешевых микроконтроллеров в 1972 г. рынок ПЛК начал расти экспоненциально и за период с 1978 по 1990 год увеличился с 80 млн. долл. до 1 млрд. долл. и к 2002 г. составил 1,4 млрд. долл. В настоящее время мировой рынок ПЛК продолжает расти, хотя и гораздо меньшими темпами. Однако последнее замечание не относится к России, где события изменяются очень быстро в связи с возрождением экономики, появлением сильных отечественных производителей и системных интеграторов, а также огромными инвестициями международных корпораций в Российскую экономику.

ПЛК используются практически во всех сферах человеческой деятельности для автоматизации технологических процессов, в системах противоаварийной защиты и сигнализации, в станках с ЧПУ, для управления дорожным движением, в системах жизнеобеспечения зданий, для сбора и архивирования данных, в системах охраны, в медицинском оборудовании, для управления роботами, в системах связи, при постановке физического эксперимента, для управления космическими кораблями, для автоматизации испытаний продукции и т. д. Тем не менее, до сих пор остается много отраслей экономики, куда контроллерная автоматизация только начинает проникать.

Согласно последнему опросу по Интернет, проведенному журналом [ControlEngineering](#) совместно с ReedResearch, большая часть опрошенных использует ПЛК в задачах управления станками. На втором месте - задачи, связанные с управлением технологическими процессами, далее идет управление перемещениями и задачи диагностики. Чаще всего контроллеры используют для решения собственных задач (54%), реже для производства оборудования для продажи (25%), или для того и другого (17%).

Контроллеры используются не только как автономные средства локального управления технологическим установками, но и в составе широкомасштабных систем автоматизированного управления целыми предприятиями.

### 3.2. Программируемые логические контроллеры

В настоящее время на Российском рынке преобладают контроллеры иностранных фирм: Siemens, Mitsubishi, ABB, SchneiderElectric, GE Fanuc, однако с течением времени увеличивается доля рынка, занятая отечественной продукцией Российских фирм (НИЛ АП, Текон, Фаствел, ДЭП, Овен, Элемер, Эмикон и др.), что соответствует общемировой

тенденции, когда в большинстве стран отечественные фирмы занимают большую долю рынка, чем иностранные. Это объясняется следующими факторами:

- благодаря использованию западных технологических линий и материалов качество изготовления Российских контроллеров часто превосходит зарубежное качество в связи с более высоким уровнем подготовки Российских специалистов;
- Российские фирмы обеспечивают более квалифицированную техническую поддержку и русскоязычную документацию;
- большую роль играет срок поставки и территориальная близость производителя к потребителю;
- соответствие отечественных разработок Российским стандартам, чего часто нельзя сказать об импортных контроллерах;
- лучшее знание Российского рынка отечественными производителями.

Широкому распространению ПЛК в большой степени способствует рост компьютерной грамотности населения, спецкурсы в ВУЗах, множество курсов повышения квалификации, проводимых ведущими системными интеграторами.

### **Программируемые логические контроллеры**

Жесткие ограничения на стоимость и огромное разнообразие целей автоматизации привели к невозможности создания универсального ПЛК, как это случилось с офисными компьютерами. Область автоматизации выдвигает множество задач, в соответствии с которыми развивается и рынок, содержащий сотни непохожих друг на друга контроллеров, различающихся десятками параметров. Каждый производитель выпускает несколько типов ПЛК разной мощности и стоимости, чтобы увеличить прибыль за счет сегментирования рынка.

Выбор оптимального для конкретной задачи контроллера основывается обычно на соответствии функциональных характеристик контроллера решаемой задаче при условии минимальной его стоимости. Учитываются также другие важные характеристики (температурный диапазон, надежность, бренд изготовителя, наличие разрешений Ростехнадзора, сертификатов и т. п.).

Несмотря на огромное разнообразие контроллеров, в их развитии заметны следующие общие тенденции:

- уменьшение габаритов;
- расширение функциональных возможностей;
- увеличение количества поддерживаемых интерфейсов и сетей;
- использование идеологии "открытых систем";
- использование языков программирования стандарта МЭК 61131-3;
- снижение цены.

Еще одной тенденцией является появление в контроллерах признаков компьютера (наличие мыши, клавиатуры, монитора, ОС Windows, возможности подключения жесткого диска), а в компьютерах - признаков контроллера (расширенный температурный диапазон, электронный диск, защита от пыли и влаги, крепление на DIN-рейку, наличие сторожевого таймера, увеличенное количество коммуникационных портов, использование ОС жесткого реального времени, функции самотестирования и диагностики, контроль целостности прикладной программы). Появились компьютеры в конструктивах для жестких условий эксплуатации. Аппаратные различия между компьютером и контроллером постепенно исчезают. Основными отличительными признаками контроллера остаются его назначение и наличие технологического языка программирования.

### **Типы ПЛК**

Для классификации огромного разнообразия существующих в настоящее время контроллеров рассмотрим их существенные различия.

Основным показателем ПЛК является количество каналов ввода-вывода. По этому признаку ПЛК делятся на следующие группы:



- нано-ПЛК (менее 16 каналов);
- микро-ПЛК (более 16, до 100 каналов);
- средние (более 100, до 500 каналов);
- большие (более 500 каналов).

По расположению модулей ввода-вывода ПЛК бывают:

- моноблочными - в которых устройство ввода-вывода не может быть удалено из контроллера или заменено на другое. Конструктивно контроллер представляет собой единое целое с устройствами ввода-вывода (например, одноплатный контроллер). Моноблочный контроллер может иметь, например, 16 каналов дискретного ввода и 8 каналов релейного вывода;

- модульные - состоящие из общей корзины (шасси), в которой располагаются модуль центрального процессора и сменные модули ввода-вывода. Состав модулей выбирается пользователем в зависимости от решаемой задачи. Типовое количество слотов для сменных модулей - от 8 до 32;

- распределенные (с удаленными модулями ввода-вывода) - в которых модули ввода-вывода выполнены в отдельных корпусах, соединяются с модулем контроллера по сети (обычно на основе интерфейса RS-485) и могут быть расположены на расстоянии до 1,2 км от процессорного модуля.

Часто перечисленные конструктивные типы контроллеров комбинируются, например, моноблочный контроллер может иметь несколько съемных плат; моноблочный и модульный контроллеры могут быть дополнены удаленными модулями ввода-вывода, чтобы увеличить общее количество каналов.

Многие контроллеры имеют набор сменных процессорных плат разной производительности. Это позволяет расширить круг потенциальных пользователей системы без изменения ее конструктива.

По конструктивному исполнению и способу крепления контроллеры делятся на:

- панельные (для монтажа на панель или дверцу шкафа);
- для монтажа на DIN-рейку внутри шкафа;
- для крепления на стене;
- стоечные - для монтажа в стойке;
- бескорпусные (обычно одноплатные) для применения в специализированных конструктивах производителей оборудования (OEM - "OriginalEquipmentManufacturer").

По области применения контроллеры делятся на следующие типы:

- универсальные общепромышленные;
- для управления роботами;
- для управления позиционированием и перемещением;
- коммуникационные;
- ПИД-контроллеры;
- специализированные.

По способу программирования контроллеры бывают:

- программируемые с лицевой панели контроллера;
- программируемые переносным программатором;
- программируемые с помощью дисплея, мыши и клавиатуры;
- программируемые с помощью персонального компьютера.

Контроллеры могут программироваться на следующих языках:

- на классических алгоритмических языках (C, C#, VisualBasic);
- на языках МЭК 61131-3.

Контроллеры могут содержать в своем составе модули ввода-вывода или не содержать их. Примерами контроллеров без модулей ввода-вывода являются коммуникационные контроллеры, которые выполняют функцию межсетевого шлюза, или контроллеры, получающие данные от контроллеров нижнего уровня иерархии АСУ ТП.

## 18 Лекция №18 ( 2 часа).

**Тема:** «Микро-ЭВМ»

### 1.18.1 Вопросы лекции:

1. Микро-ЭВМ
2. Микроконтроллеры

#### 1.81.2 Краткое содержание вопросов:

##### 1. Микро-ЭВМ

Цифровые электронные устройства строятся на схемах способных находиться в двух состояниях. Если этим состояниям поставить в соответствие символы 1 и 0, то любому числу, букве или символу можно приписать определенное сочетание единиц и нулей. Представление чисел с помощью двух цифр 1 и 0 получило название двоичной или бинарной системы счисления (в основании системы лежит число 2). Каждый разряд двоичной записи числа называют битом.

Любое число в системе с любым основанием можно записать в виде суммы, где слагаемыми являются весовые коэффициенты умноженные на значащую цифру.

Например, число 245 в десятичной системе можно записать так:

$$205 = 2 \cdot 10^2 + 0 \cdot 10^1 + 5 \cdot 10^0 = 200 + 0 + 5$$

Аналогично, число 45 в двоичной системе можно представить как

$$101101 = 1 \cdot 2^5 + 0 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 32 + 0 + 8 + 4 + 0 + 1 = 45$$

В первом случае весовые коэффициенты могут принимать значения от 0 до 9 и в основании системы лежит число 10 (десятичная система счисления), а во втором случае весовые коэффициенты могут принимать значения только 0 и 1, а в основании системы лежит число 2 (двоичная система счисления).

##### 2. Микроконтроллеры

#### Классификация ЭВМ

Существуют различные критерии для классификации ЭВМ, из которых наиболее распространены следующие:

По назначению: общего пользования (универсальные), ориентированные на решение разнообразных задач.

По быстродействию: малые (до 100 тыс. операций в секунду), средние (до 500 тыс.), большие (до 1,5 млн.), сверхбольшие (свыше 1,5 млн. операций в секунду).

Здесь указано быстродействие центрального процессора. Реальное быстродействие ЭВМ существенно ниже за счет “медленных” устройств ввода-вывода.

По составу оборудования: базовые, включающие стандартный минимальный комплект для поставки потребителю; типовые, включающие комплект оборудования, наиболее используемый в настоящее время; специализированные, включающие комплект оборудования, поставляемого по спецификации заказчика.

Следует иметь ввиду, что классификация ЭВМ постоянно изменяется.

#### **ТИПОВАЯ СТРУКТУРА МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ. РЕЖИМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ**

Применение МП позволило создать новый класс вычислительной техники - микропроцессорные системы, обобщенная логическая структура которых приведена на рисунке 1.

Центральное место в этой структуре занимает микропроцессор, который выполняет арифметические и логические операции над данными, осуществляет программное управление процессом обработки информации, организует взаимодействие всех устройств, входящих в систему. Работа МП происходит под воздействием сигналов схемы синхронизации и начальной установки, часто выполняемой в виде отдельного кристалла.

Показанный на рисунке 1 МП может представлять собой или однокристалльный МП с фиксированной системой команд или многокристалльный МП с микропрограммным управлением.

Представленная на рисунке 1 структура отражает магистрально-модульный принцип организации микропроцессорных устройств и систем. Отдельные блоки являются функционально законченными модулями со своими встроенными схемами управления, выполненными в виде одного или нескольких кристаллов БИС или СБИС. Межмодульные связи и обмен информацией между модулями осуществляются посредством коллективных шин (магистралей), к которым имеют доступ все основные модули системы. В каждый данный момент времени возможен обмен информацией только между двумя модулями системы.

Магистральный принцип построения сопряжения модулей (интерфейс ЭВМ) предполагает наличие информационно-логической совместимости модулей, которая реализуется путем использования единых способов представления информации, алгоритма управления обменом, форматов команд и способа синхронизации.

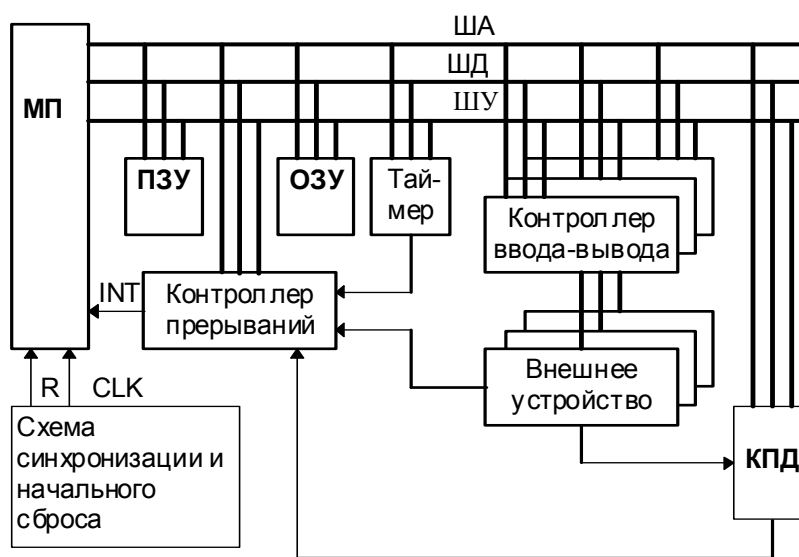


Рисунок 1 - Обобщенная структура МП-системы

Для большинства микропроцессоров характерна трехшинная структура, содержащая шину адреса (ША), двухнаправленную шину данных (ШД) и шину управления (ШУ). Как видно из рисунка 1, типовая структура МП-системы предполагает наличие общего сопряжения для модулей памяти (постоянных и оперативных запоминающих устройств) и периферийных устройств (устройств ввода-вывода).

В качестве периферийных устройств в МП-системах используются устройства ввода с перфоленты, дисплеи, магнитофоны, гибкие и жесткие магнитные диски, телетайпы, печатающие устройства, клавиатура и т.п.

Периферийное устройство подсоединяется к шинам МП не непосредственно, а через программируемый периферийный адаптер (ППА) или программируемый связной адаптер (ПСА), обслуживающие периферийные устройства соответственно с передачей информации параллельным или последовательным кодом. Наличие программно настраиваемых адаптеров делает весьма гибкой и функционально богатой систему ввода-вывода информации в МП-системе.

Постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) хранит системные программы, необходимые для управления процессом обработки. В оперативном запоминающем устройстве (ОЗУ) хранятся прикладные программы, данные и результаты вычислений.

Работа МП синхронизируется тактовыми сигналами CLK, поступающими на его входы от генератора синхронизации. Схема начальной установки вырабатывает сигнал RESET (сброса) микропроцессора на основе анализа напряжений на выходе блока питания или при принудительной остановке работы МПС с ее клавиатуры.

В состав этих МПС, как правило, входят:

- шинный контролер для сопряжения устройств с системной шиной по параллельному интерфейсу;
- адаптер последовательного интерфейса для построения многопроцессорных систем или сопряжения источников и приемников сигналов, не увеличивающих нагрузку на системный интерфейс;
- специализированный процессор арифметической обработки сигналов (сопроцессор);
- ПЗУ команд и констант;
- ОЗУ операндов.

Для обеспечения работы МПС к их системному интерфейсу можно подключать устройства специализированной обработки арифметических алгоритмов, таких как быстрое преобразование Фурье, и устройства обработки аналоговых сигналов.

В состав таких устройств обработки аналоговых сигналов входят:

- аналого-цифровые (АЦП) и цифроаналоговые (ЦАП) преобразователи, обеспечивающие непосредственное сопряжение цифрового устройства обработки с аналоговыми сигналами датчиков и приемников;
- система памяти ПЗУ и ОЗУ;
- буферы данных, используемые для временного хранения (буферизации) данных при передаче между устройствами;
- МП, предназначенный для цифровой обработки аналоговых сигналов.

В рассматриваемых структурах МПС реализуются три способа организации (обслуживания) передачи информации:

- 1) программно-управляемая передача, инициируемая процессором;
- 2) программно-управляющая передача, инициируемая запросом прерывания от периферийного устройства;
- 3) прямой доступ к памяти (ПДП).

При первом способе передача инициируется самим процессором, а при втором - запросом прерывания от периферийного устройства.

При программно-управляемой передаче данных МП на все время этой операции отвлекается от выполнения основной программы, что ведет к снижению производительности МП-системы. Кроме того, скорость передачи данных через МП может оказаться недостаточной для работы с высокоскоростными внешними устройствами.

Прямой доступ к памяти называется способ обмена данными, обеспечивающий автономно от МП установление связи и передачу данных между ОЗУ и внешним устройством.

Прямой доступ к памяти, повышая предельную скорость ввода-вывода информации и общую производительность МП-системы, делает ее более приспособленной для работы в системах реального времени. Прямой доступ к памяти управляет контролер ПДП, выполняющий следующие функции:

- управление инициируемой процессором или ПУ передачей данных между ОЗУ и ПУ;
- задание размера блока данных, который подлежит передаче, и области памяти, используемой при передаче;
- формирование адресов ячеек ОЗУ, участвующих в передаче;
- подсчет числа байт, передаваемых через интерфейс, и определение момента завершения заданной операции ввода-вывода.

## **19 Лекция №19 ( 2 часа).**

**Тема:** «Программное обеспечение».

### **1.19.1 Вопросы лекции:**

1. Структура программного обеспечения.
2. Операционные системы , системное ПО, прикладное ПО.

## 1. Структура программного обеспечения.

### **Программное обеспечение**

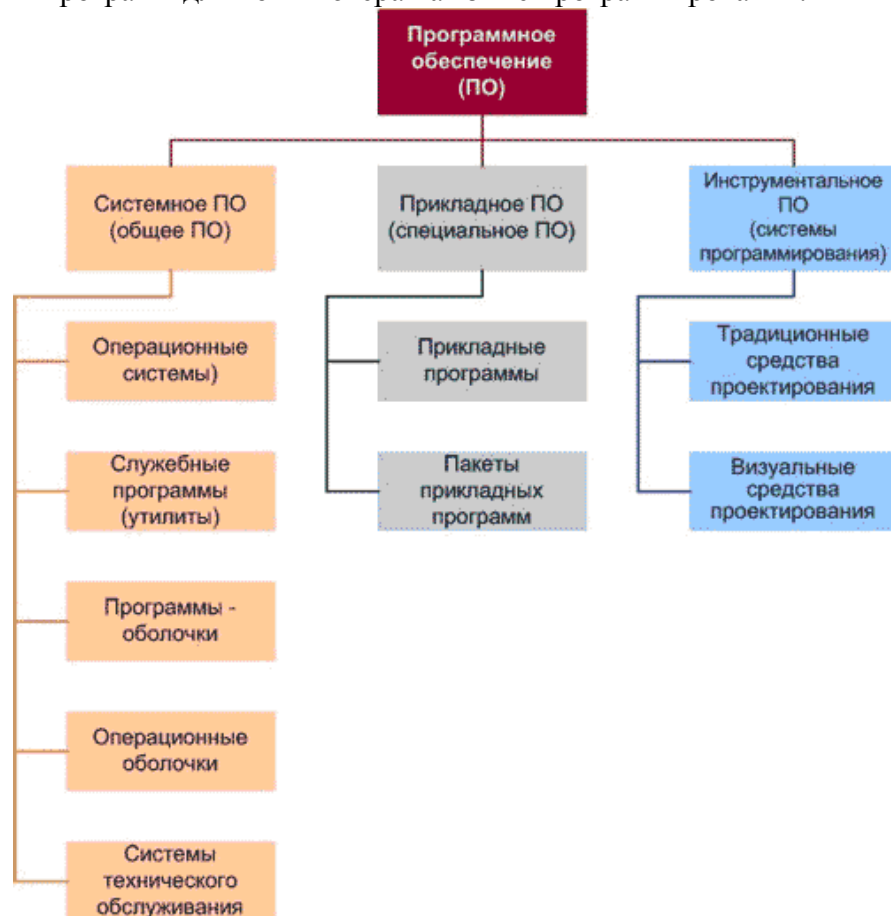
Совокупность программ, предназначенная для решения задач на ПК, называется программным обеспечением. Состав программного обеспечения ПК называют программной конфигурацией.

Программное обеспечение, можно условно разделить на три категории:

- системное ПО (программы общего пользования), выполняющие различные вспомогательные функции, например создание копий используемой информации, выдачу справочной информации о компьютере, проверку работоспособности устройств компьютера и т.д.

- прикладное ПО, обеспечивающее выполнение необходимых работ на ПК: редактирование текстовых документов, создание рисунков или картинок, обработка информационных массивов и т.д.

- инструментальное ПО (системы программирования), обеспечивающее разработку новых программ для компьютера на языке программирования.



## 2. Операционные системы, системное ПО, прикладное ПО.

### **Системное ПО**

Это программы общего пользования не связаны с конкретным применением ПК и выполняют традиционные функции: планирование и управление задачами, управления вводом-выводом и т.д.

Другими словами, системные программы выполняют различные вспомогательные функции, например, создание копий используемой информации, выдачу справочной информации о компьютере, проверку работоспособности устройств компьютера и т.п.

К системному ПО относятся:

- операционные системы (эта программа загружается в ОЗУ при включении компьютера)

☐ программы – оболочки (обеспечивают более удобный и наглядный способ общения с компьютером, чем с помощью командной строки DOS, например, NortonCommander)

☐ операционные оболочки – интерфейсные системы, которые используются для создания графических интерфейсов, мультипрограммирования и т.д.

☐ драйверы (программы, предназначенные для управления портами периферийных устройств, обычно загружаются в оперативную память при запуске компьютера)

☐ утилиты (вспомогательные или служебные программы, которые представляют пользователю ряд дополнительных услуг)

К утилитам относятся:

☐ диспетчеры файлов или файловые менеджеры

☐ средства динамического сжатия данных (позволяют увеличить количество информации на диске за счет ее динамического сжатия)

☐ средства просмотра и воспроизведения

☐ средства диагностики; средства контроля позволяют проверить конфигурацию компьютера и проверить работоспособность устройств компьютера, прежде всего жестких дисков

☐ средства коммуникаций (коммуникационные программы) предназначены для организации обмена информацией между компьютерами

☐ средства обеспечения компьютерной безопасности (резервное копирование, антивирусное ПО).

Необходимо отметить, что часть утилит входит в состав операционной системы, а другая часть функционирует автономно. Большая часть общего (системного) ПО входит в состав ОС. Часть общего ПО входит в состав самого компьютера (часть программ ОС и контролирующих тестов записана в ПЗУ или ППЗУ, установленных на системной плате). Часть общего ПО относится к автономным программам и поставляется отдельно.

### ***Прикладное ПО***

Прикладные программы могут использоваться автономно или в составе программных комплексов или пакетов. Прикладное ПО – программы, непосредственно обеспечивающие выполнение необходимых работ на ПК: редактирование текстовых документов, создание рисунков или картинок, создание электронных таблиц и т.д.

Пакеты прикладных программ – это система программ, которые по сфере применения делятся на проблемно – ориентированные, пакеты общего назначения и интегрированные пакеты. Современные интегрированные пакеты содержат до пяти функциональных компонентов: тестовый и табличный процессор, СУБД, графический редактор, телекоммуникационные средства.

К прикладному ПО, например, относятся:

☐ Комплект офисных приложений MS OFFICE

☐ Бухгалтерские системы

☐ Финансовые аналитические системы

☐ Интегрированные пакеты делопроизводства

☐ CAD – системы (системы автоматизированного проектирования)

☐ Редакторы HTML или Web – редакторы

☐ Браузеры – средства просмотра Web - страниц

☐ Графические редакторы

☐ Экспертные системы

И так далее.

### ***Инструментальное ПО***

Инструментальное ПО или системы программирования - это системы для автоматизации разработки новых программ на языке программирования.

В самом общем случае для создания программы на выбранном языке программирования (языке системного программирования) нужно иметь следующие компоненты:

1. Текстовый редактор для создания файла с исходным текстом программы.
2. Компилятор или интерпретатор. Исходный текст с помощью программы-компилятора переводится в промежуточный объектный код. Исходный текст большой программы состоит из нескольких *модулей* (файлов с исходными текстами). Каждый модуль компилируется в отдельный файл с объектным кодом, которые затем надо объединить в одно целое.
3. Редактор связей или сборщик, который выполняет связывание объектных модулей и формирует на выходе работоспособное приложение – исполнимый код. Исполнимый код – это законченная программа, которую можно запустить на любом компьютере, где установлена операционная система, для которой эта программа создавалась. Как правило, итоговый файл имеет расширение .EXE или .COM.
4. В последнее время получили распространение визуальные методы программирования (с помощью языков описания сценариев), ориентированные на создание Windows-приложений. Этот процесс автоматизирован в средах быстрого проектирования. При этом используются готовые визуальные компоненты, которые настраиваются с помощью специальных редакторов.

Наиболее популярные редакторы (системы программирования программ с использованием визуальных средств) визуального проектирования:

- ☐ BorlandDelphi - предназначен для решения практически любых задачи прикладного программирования
- ☐ Borland C++ Builder – это отличное средство для разработки DOS и Windows приложений
- ☐ MicrosoftVisualBasic – это популярный инструмент для создания Windows-программ
- ☐ MicrosoftVisual C++ - это средство позволяет разрабатывать любые приложения, выполняющиеся в среде ОС типа MicrosoftWindows.

## **20 Лекция №20 ( 2 часа).**

**Тема:** «Принципы программирования».

### **1.20.1 Вопросы лекции:**

1. Принципы программирования в системах автоматизации и управления
2. Программирование промышленных компьютеров и ПЛК

### **1.20.2 Краткое содержание вопросов:**

1. Принципы программирования в системах автоматизации и управления

Вопрос о прикладном программном обеспечении САУ ТП является чрезвычайно широким, таким же, как и спектр задач, решаемых конкретными системами. Остановимся лишь на некоторых важнейших аспектах классификации этого ПО. С точки зрения инженера, создающего комплекс средств САУ ТП, - прикладное программное обеспечение можно разбить на следующие важнейшие группы:

- дополнение к операционной системе (драйверы и т.п.);
- программы управления, снятия (получения), передачи данных, обработки данных, планирования и т.п., то есть прикладные вычислительные задачи;
- программное обеспечение локальных регуляторов. Эта часть программного обеспечения часто создаётся для специализированных микроконтроллеров и поэтому имеет свои особенности.

Важно также учитывать то обстоятельство, что для создания этих разнородных частей прикладного программного обеспечения используются совершенно разные методы программирования. Наиболее традиционной частью являются прикладные

вычислительные задачи. Решать эти задачи стремятся традиционными методами и для этого стараются использовать программирование на языках высокого уровня, не упуская при этом из виду тот факт, что работа программы должна вестись в реальном времени. Обычно удаётся здесь обойтись программированием на языке C, C++, Pascal, привлекая для этого (по возможности быстродействия) интегрированные среды типа Visual C, Builder или Delphi.

Если это удаётся, то имеется возможность создания мощного современного программного обеспечения, удовлетворяющего всем требованиям к интерфейсам пользователя.

Непреодолимым барьером здесь может оказаться отсутствие требуемых средств разработки ПО для конкретной ОС РВ. В настоящее время для всех популярных ОС РВ имеются, по крайней мере, компиляторы языка C. Это существенно облегчает работу программиста.

## 2. Программирование промышленных компьютеров и ПЛК

При создании программного обеспечения для локальных контроллеров важно придерживаться следующих принципов:

При разработке проекта САУ ТП стараться обеспечить однородность вычислительной платформы, что позволит в дальнейшем упростить программирование. В настоящее время реально это означает, что целесообразно в локальных системах использовать не специализированные микроконтроллеры, а РС-совместимые контроллеры. Это требование, конечно, не является императивным, так как имеется достаточное количество примеров, когда наиболее эффективны именно специализированные контроллеры.

Например, в задачах цифровой обработки сигналов используются специальные DSP-процессоры. Но при этом следует понимать, что обслуживание узкоспециализированного программного обеспечения часто накладно.

При разработке микропрограмм для локальных контроллеров тщательно обосновывать выбор контроллеров, исходя из перспективности той или иной микроконтроллерной платформы. Причём, основным аспектом является не экономический, так как стоимость современных микроконтроллеров стремительно снижается, а системный. Использование устаревающих контроллеров нецелесообразно. Кросс-средства программирования для различных контроллеров существенно отличаются с точки зрения универсальности, стандартизованности и ориентированности на интеграцию в состав более сложных иерархических систем.

Библиотеки программ, созданные для микроконтроллеров, с трудом поддаются повторному использованию и передаче другим пользователям, часто оказывается проще создать программы заново. К сожалению, объектно-ориентированный подход здесь применим далеко не всегда, так как влечёт резкое увеличение объёмов кодов.

Альтернативой традиционному программированию микроконтроллеров, в принципе, является технология Java, предполагающая сетевую загрузку исполняемых программ (апплетов) в контроллеры. Здесь следует отметить, что это не вполне безопасно и не всегда надёжно.

Международная Электротехническая Комиссия (МЭК) в 1993 г. утвердила стандарт IEC 61131 часть 3 (IEC 61131-3). Этот международный стандарт входит в группу IEC 61131 стандартов, которые охватывают различные аспекты использования программируемых логических контроллеров (ПЛК - PLC).

Назначение IEC 61131-3 - стандартизация существующих языков ПЛК. Стандарт IEC 61131-3 оказался настолько актуален, что ждать его адаптации не хватило сил: функции поддержки, и внедрение стандарта на рынке взяла на себя независимая организация PLCOpen, состоящая из производителей и пользователей программного обеспечения (ПО), ориентированного на IEC 61131- 3. В результате деятельности PLCOpen на рынке ПО появилась серия сертифицированных средств программирования



ПЛК, - средств, которые достаточно широко и небезуспешно внедряются в промышленности. В целом, это воспринимается как очередной прогрессивный шаг в рамках концепции "открытых систем". Стандарт IEC 61131-3 описывает синтаксис и семантику пяти языков программирования ПЛК. Эти языки не являются чем-то совершенно новым, а лишь обобщают то, что широко известно в области автоматизации промышленных объектов:

SFC (SequentialFunctionChart) - графический язык, используемый для описания алгоритма в виде набора связанных пар: шаг (step) и переход (transition). Шаг представляет собой набор операций над переменными. Переход - набор логических условных выражений, определяющий передачу управления к следующей паре шаг-переход. По внешнему виду описание на языке SFC напоминает хорошо известные логические блок - схемы алгоритмов. SFC имеет возможность распараллеливания алгоритма. Однако, SFC не имеет средств для описания шагов и переходов, которые могут быть выражены только средствами других языков стандарта (например, условными операторами Pascal - язык ST). Поэтому любая реализация языка SFC - это просто начальное представление логики алгоритма.

LD (LadderDiagram) - графический язык программирования, являющийся стандартизованным вариантом класса языков релейно-контактных схем. Логические выражения на этом языке описываются в виде реле, которые широко применялись в области автоматизации в 60-х годах, дополненный дискретными устройствами: таймерами, счетчиками и т.п.

FBD (FunctionalBlockDiagram) - графический язык по своей сути похожий на LD. Вместо реле в этом языке используются функциональные блоки, функциональное назначение которых гораздо шире. Сюда входят такие блоки, как ПИД - регулятор, фильтр и т.п. По сути дела, FBD является наиболее естественным способом описания структуры САУ с точки зрения инженера по автоматике. FBD поддерживается многими современными системами проектирования и SCADA-системами.

ST (StructuredText) - текстовый высокоуровневый язык общего назначения, по синтаксису ориентированный на Паскаль. Фактически, это обычное программирование на языке высокого уровня.

IL (InstructionList) - текстовый язык низкого уровня. В дополнение к языку ST - это программирование фактически на Ассемблере. Это необходимо в случае разработки драйверов и критических ко времени программ.

В качестве примера рассмотрим решение на языке LD (реализации языков LD и FBD) задачи управления технологическим участком, схема которого приведена ниже.

Многие задачи управления могут быть описаны, как последовательность событий. Управляющая программа должна проверять порядок выполнения событий. Она не только выполняет обычные операции управления, но и учитывает возможные неисправности и критические ситуации.

Рассмотрим простой пример.

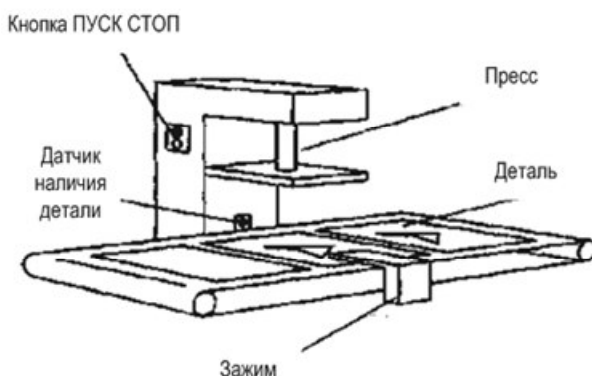


Рисунок 5.2 - Технологическое оборудование - конвейер

Оператор нажал кнопку пуска.  
 Проверяется наличие заготовки. Если она есть, то процесс продолжается. Если нет - конвейер двигается до появления заготовки.  
 Заготовка фиксируется зажимом.  
 Деталь прессуется.  
 Зажим освобождает деталь, и она выходит из-под пресса.  
 Процесс продолжается, если выбран автоматический (циклический) режим, иначе останавливается. Вот как выглядит блок-схема последовательности описанных выше операций. Разбиение программы на логические блоки

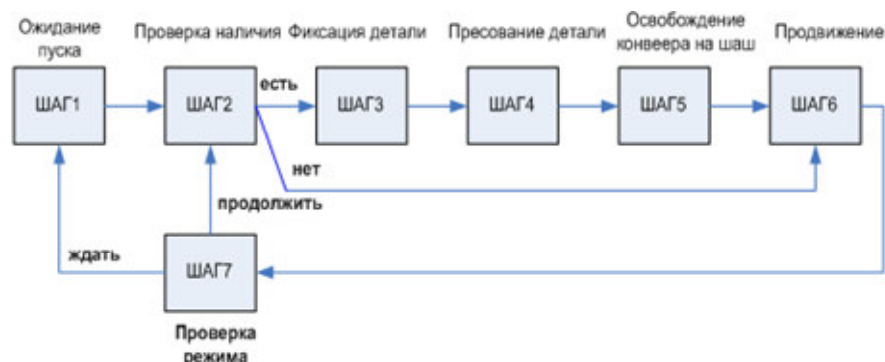


Рисунок 5.3 - Блок-схема программы управления конвейером

Для определенности дальнейшего описания, поставим в соответствие каждому сигналу нашего примера X-образ дискретного ввода и Y-прообраз дискретного вывода:

Таблица 5.1

СИГНАЛИЗАЦИЯ		УПРАВЛЕНИЕ	
Кнопка пуска	X0	Зажимное устройство	Y0
Датчик наличия детали под прессом	X1	Пресс	Y1
Концевик фиксации заготовки	X2	Движение конвейера	Y2
Концевик освобождения детали	X3		
Нижний концевик пресса	X4		
Верхний концевик пресса	X5		
Шаг конвейера	X6		
Переключатель режима	X7		
Кнопка останова	X8		

#### Решение на языке LD

До появления программируемых логических контроллеров (ПЛК) проблемы управления решались с помощью реле и переключателей, жестко соединенных в релейно-контактные схемы. Более 30 лет назад стали искать способ, позволяющий легко и быстро вносить изменения, в логику управления не меняя монтажа. Так появились ПЛК. Разработчика "новой" технологии были хорошо знакомы с решением задач управления с помощью реле и переключателей, поэтому имело смысл имитировать релейно-контактные схемы в созданном специально для ПЛК языке программирования LD. Вот почему программы на LD похожи на релейно-контактные схемы.

На рисунок 5.4 показан пример части программы на LD, реализующей управление по алгоритму, описанному на предыдущей странице.

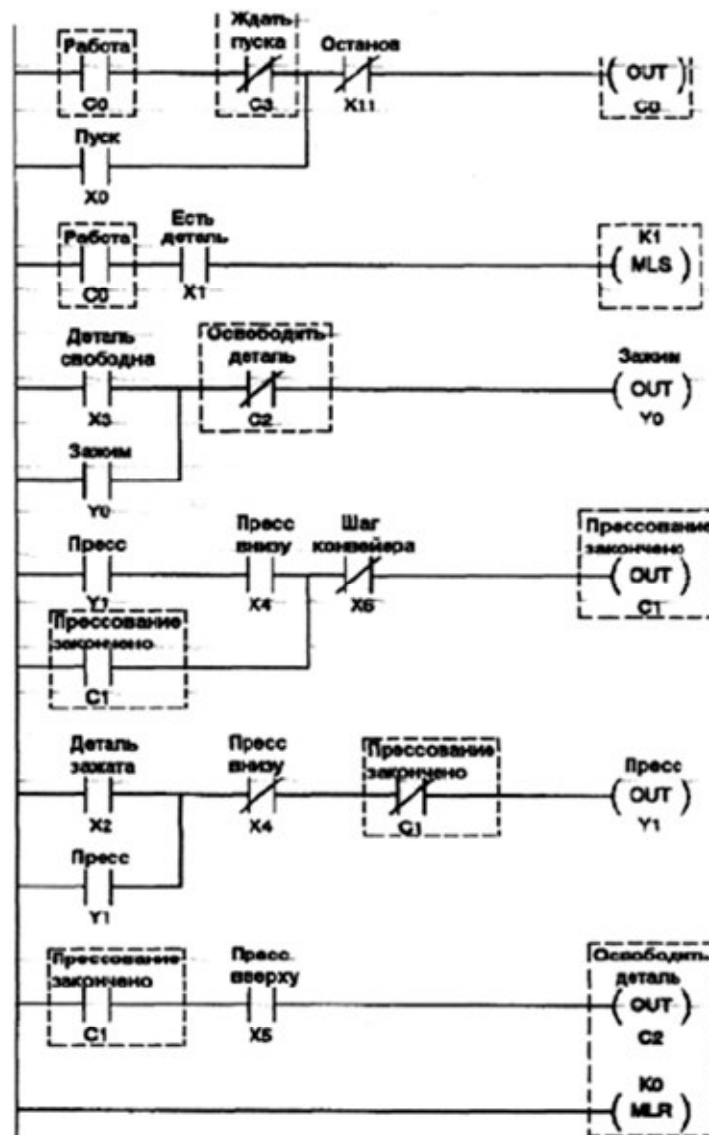


Рисунок 5.4 - Пример программы на языке LD

Вертикальная линия слева символизирует шину питания, а положение контактов и состояния обмоток реле определяют происходящие действия, которые в релейно-контактных схемах принято называть блокировками. Здесь хорошо просматриваются отдельные цепи контактов, подающие питание на обмотки реле - ступени. Программа на LD, имитирующая релейно-контактную схему, "просматривает" контакты и обмотки каждой ступени слева направо, а сами ступени сверху вниз. Это нормальный порядок действий в LD. Программа на LD в графическом представлении выглядит как ступени своеобразной лестницы, ведущей вниз. Нетрудно видеть, что "контакты реле" (нормально замкнутые и разомкнутые) фактически означают не только сами контакты, но и некоторые логические условия, при выполнении которых на каждой "ступеньке лестницы" происходит некоторое действие. После этого производится переход к следующей ступени вниз.

Говоря о современных инструментальных средствах, следует сразу же отметить важнейшую тенденцию: наиболее перспективными являются интуитивно-понятные разработчику средства визуального проектирования. В любой предметной области, в том числе и в автоматике, визуальные средства предполагают, что проектировщик (или пользователь) не должен писать практически никакого кода программы ни на одном из языков программирования.

Вместо этого он производит размещение тех или иных наглядных графических образов (обычно пиктограмм) на рабочем поле. Эти образы представляют собой отображение некоторых стандартных блоков, алгоритмов, устройств. Соединяя эти образы в соответствии с требуемой структурой, и задавая свойства отдельных компонент, пользователь быстро получает требуемое представление своей системы.

Инструментальные средства разработки, отладки и сопровождения программного обеспечения

Практически избежать программирования удаётся за счёт объектно-ориентированного характера такой модели, при котором необходимые коды программ уже инкапсулированы в стандартных блоках. То есть программирование заменяется заданием параметров (обычно числовых) в стандартных алгоритмах. Многочисленные преимущества такого подхода очевидны. Более того, большинство современных, в том числе и профессиональных, программных комплексов в различных областях техники, обработки изображений, звука и т.п. созданы именно в этом виде. Сложнейшие, но стандартные процедуры, при этом легко реализуются.

Возникает возможность использования опыта (программного кода) предыдущих разработчиков без его изучения. Фирмы - производители систем автоматизации предоставляют огромные библиотеки таких функций (классов), и создаётся обманчивое впечатление, что программирование вообще не нужно, что кто-то сторонний всё сделает за специалиста по автоматике. Это мнение старательно поддерживается и фирмами-производителями. Но именно здесь заключается и слабая сторона такого подхода. Реально имеются две негативные стороны использования стандартных библиотек функций (классов):

закрытость исходных кодов (и в смысле недоступности, и в том смысле, что пользователь не заинтересован глубоко разбираться в чужих кодах);

неоптимальность кодов именно для той конкретной ситуации, в которой находится данный разработчик системы автоматизации ("универсальное - значит не оптимальное").

Эти два пункта реально приводят к тому, что пользователь - разработчик автоматической системы не может гарантировать надёжность работы всей системы, так как в неё входят закрытые компоненты, и не может гарантировать оптимальности в смысле быстродействия работы критичных к этому параметру частей системы. Таким образом, чисто визуальные методы программирования ограниченно пригодны в случае хорошо известных задач, не критичных, кроме того, к быстродействию и надёжности всей системы.

Не следует думать, что таких задач мало. Типичной из них является создание некоторых SCADA - систем, то есть таких систем, которые в основном предназначены для диспетчерского отображения разнородной информации, в состав которых входит достаточно ненадёжный элемент: человек-оператор. В таких системах, особенно в случае, когда реальное быстродействие объекта управления гораздо выше быстродействия человека-оператора, последнему отводится лишь роль более или менее пассивного наблюдателя, принимающего лишь стратегические решения. И практика показывает, что для подобных систем применение визуальных средств и объектно-ориентированных подходов в программировании эффективно. В качестве примера можно привести систему DigiVis или WIN CC. Наряду со специализированными визуальными средствами программирования, широко распространено и применение таких визуальных сред, как Delphi или Builder от фирмы Borland, Visual C++ от Microsoft и т.п. Множество подобных средств стремительно растёт, привлекая всё новые и новые подходы в программировании, исчерпывающий их обзор на сегодняшний день практически невозможен.

Чтобы добиться абсолютно предсказуемого поведения программного обеспечения с учётом работы в реальном времени разработчик автоматических систем всё же вынужден в ряде случаев создавать собственное программное обеспечение. Наиболее целесообразный подход здесь следующий:

по мере возможности пользоваться языками высокого уровня, позволяющими быстро создавать и отлаживать программное обеспечение;

и лишь в явных случаях нехватки быстродействия или надёжности использовать программирование на Ассемблере.

Именно такой подход позволяет инженеру в области автоматики решить сразу две задачи:

обеспечить реальную возможность передачи исходных кодов программ другим разработчикам, в том числе, и при смене вычислительной платформы;

добиться существенной экономии времени разработки программного обеспечения. Известно, что наиболее "расточительно" в этом смысле программирование на языке низкого уровня - Ассемблере.

От правильного выбора программного продукта, удовлетворяющего требованиям сопровождения, часто зависит судьба всей системы автоматики и эффективности вложения средств.

## **21 Лекция №21 ( 2 часа).**

**Тема:** : «Технические средства для отображения процессов в системах автоматизации и управления».

### **1.21.1 Вопросы лекции:**

1. Типовые средства отображения и документирования информации.
2. Принципы построения, классификация и технические характеристики устройств взаимодействия с оператором.

### **1.21.2 Краткое содержание вопросов:**

1. Типовые средства отображения и документирования информации.

Создаваемая ИИС должна обеспечивать достижение поставленных перед ней целей. Эти цели могут быть достигнуты различными способами. Поэтому должны быть определены критерии сравнения различных вариантов — количественные показатели качества ИИС. Эти показатели, как и для всех сложных устройств и систем, имеют многоплановый характер.

Основным показателем качества ИИС как СИ, отражающим ее назначение и специфику конкретного применения, является показатель достоверности выдаваемой информации. Для измерительных систем (включая статистические) показателем достоверности, как и для всех СИ, является погрешность измерения или неопределенность результата измерений. Для систем контроля и систем распознавания образов достоверность принимаемых решений характеризуется вероятностями ошибок. Более сложна оценка достоверности результатов, выдаваемых системами технической диагностики и системами идентификации. Однако она тоже сводится к некоторым вероятностным характеристикам.

Свойства ИИС как информационной системы характеризуются количеством выдаваемой информации, скоростью выдачи и информационной избыточностью. Эти показатели могут непосредственно интересовать потребителя. Следует отметить, что возможности современной вычислительной техники и каналов передачи информации таковы, что во многих случаях обеспечение требуемых информационных характеристик достигается без особых усилий.

2. Принципы построения, классификация и технические характеристики устройств взаимодействия с оператором.

ИИС характеризуется также общетехническими показателями: габариты, масса, потребляемая мощность, показатели безопасности, надежность и др. Определенной спецификой среди этих показателей обладает надежность, так как она определяется не только надежностью технических средств и общей структурой ИИС, но зависит и от свойств программно-математического обеспечения.

При разработке и применении ИИС не следует упускать из виду экономические аспекты. При этом с экономической точки зрения необходимо учитывать два противоречивых момента. ИИС в силу своей сложности является более дорогим средством измерения. В то же время ее применение может значительно повысить производительность и достоверность контрольно-измерительных операций, что приведет к повышению качества выпускаемой продукции, то есть принести значительный экономический эффект. Кроме того, гибкость ИИС позволяет с ее помощью заменить несколько традиционных СИ, что также увеличивает экономический эффект от ее применения. Эти факторы доступны достаточно точному экономическому анализу. Менее очевидна экономическая оценка положительного эффекта возможности исследования сложных объектов, недоступных для более простых СИ.

При проектировании ИИС, как и систем любого другого вида, необходимо руководствоваться системотехническим подходом [8]. При этом следует иметь в виду, что ИИС представляет собой некоторую иерархическую структуру, верхним уровнем которой является вычислительное устройство, а нижним — первичные измерительные преобразователи, контактирующие с ИО. При наличии обратной связи передача информации происходит не только от нижних уровней к верхним, но и в обратном направлении. На промежуточных уровнях также могут находиться микропроцессорные вычислительные устройства. Иерархичность многоходовых (многоканальных) ИИС очевидна, но даже простейшие одноканальные ИИС имеют структуру, которую можно считать иерархической. При этом следует различать два вида иерархических структур:

- функциональную структуру (датчики, вторичные преобразователи, каналы связи, центральная ЭВМ);

- конструктивную структуру (система, блок, плата, элемент).

Благодаря миниатюризации компонентов электронной и вычислительной техники структура второго вида постоянно упрощается при сохранении функциональной структуры.

Организация структуры сложных технических систем должна исходить из нескольких общих принципов.

## **22 Лекция №22 ( 2 часа).**

**Тема:** «Видео термальные средства, индикаторы, пульта и станции оператора

### **1.22.1 Вопросы лекции:**

1. Видео термальные средства, индикаторы.
2. Пульта и станции оператора.

### **1.22.2 Краткое содержание вопросов:**

Индикатор ADX (Average Directional Index, индикатор направленного движения) - уникальный индикатор, способный работать на опережение и показывать силу тренда (будет ли он продолжаться или будет постепенно ослабевать), до начала движения цены.

Индикатор ADX выведен из двух других, которые также разработаны У. Уайлдером. Один индикатор называется Positive Directional Indicator (+DI), второй - Negative Directional Indicator (-DI). На графике главная линия индикатора ADX показывается совместно с кривыми +DI и -DI.

ADX индикатор, присутствует во всех торговых терминалах MT4 и MT5, на графике строится тремя линиями, отображающими направление и силу:

- линия +DI - указывает на рост цены валютной пары;
- линия -DI - указывает на падение цены валютной пары;
- линия ADX – показатель текущей ситуации на рынке (тренд или флет).

Несмотря на то, что показания индикатора ADX располагаются в диапазоне от 0 до 100, они крайне редко забираются выше отметки 60. Значение ADX ниже 20

сигнализирует о слабом тренде, а выше 40 - о сильном. Показания выше отметки 40 указывают на наличие сильного тренда (как нисходящего, так и восходящего). Когда индикатор находится ниже 20, это говорит об отсутствии выраженного тренда, т.е. консолидации, которую лучше избегать.

Индикатор ADX также может использоваться для определения потенциальных изменений на рынке. Когда показания индикатора переходят границу 20 снизу вверх - это может говорить об изменении тренда и дальнейшем его развитии. Когда значение индикатора, находящееся выше отметки 40, снижается ниже этого уровня, то текущий тренд, скорее всего, теряет свою силу.

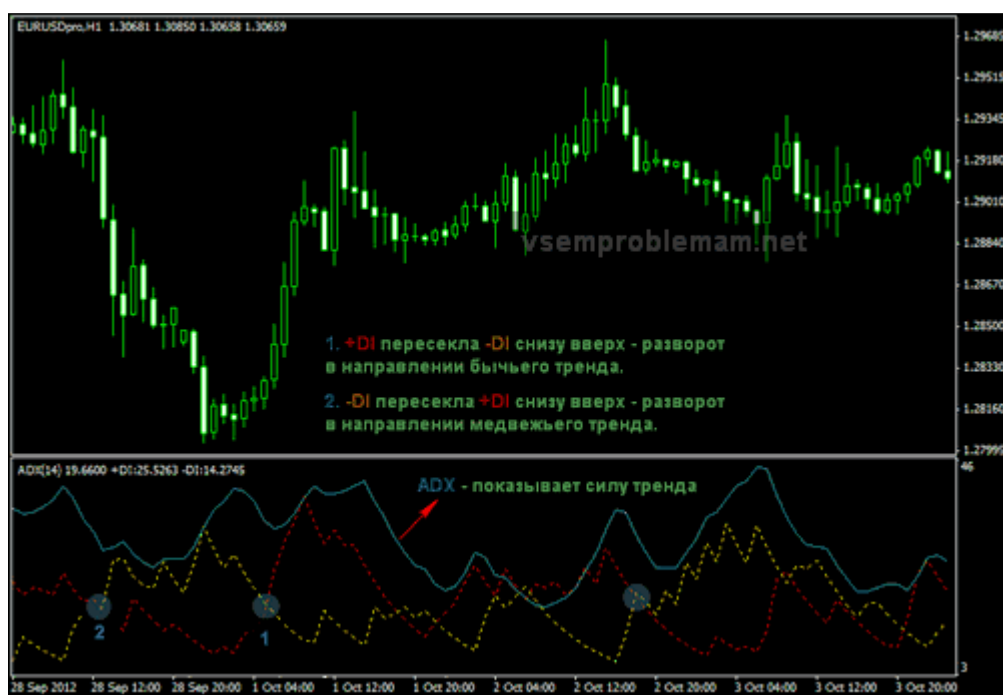
В случае наличия на рынке какой-либо тенденции - бычьей или медвежьей - расстояние между сигнальными линиями DI начинает увеличиваться и начинает расти сам ADX и, наоборот, при снижении активности на рынке - расстояние между сигнальными линиями DI начинает сокращаться, а ADX - падает.

ADX лучше всего работает после периода консолидации и показывает ненадежные результаты после V-образных разворотов рынка и резких движениях против основной тенденции.

## .2. Пульты и станции оператора.

Сигналы ADX на покупку-продажу приходят от пересечения линий +DI и -DI:

- **+DI линия движется вверх.** Когда +DI пересекает -DI снизу вверх, это указывает на разворот в направлении восходящего тренда и сигнализирует об открытии позиций на покупку и немедленном закрытии позиций на продажу.
- **-DI линия движется вверх.** Когда линия -DI пересекает +DI снизу вверх, это указывает на разворот в направлении нисходящего тренда и сигнализирует об открытии позиций на продажу и немедленном закрытии позиций на покупку.



Перед принятием решения об открытии позиции на коротких тайм фреймах, желательно подтвердить свое решение, посмотрев на график с более длинным временным периодом, скажем, дневном или выше. Графики с большими тайм фреймами дают более широкую картину текущей тенденции в долгосрочной перспективе. Проще говоря, краткосрочные графики могут показывать, что тенденция ослабевает, но на более длительном графике можно увидеть, что падение - это лишь временная коррекция, а сама тенденция сохраняется.

**Другие сигналы индикатора:**



1. Главная линия индикатора ADX характеризует силу тренда: чем она выше, тем сильнее тренд (независимо от его направления). Значение до 20 говорит о слабом тренде, от 20 до 40 – среднем, выше 40 – сильный тренд.

2. Две дополнительные линии индикатора ADX (+DI и –DI) характеризуют бычий и медвежий тренды. Если линия +DI находится выше других двух, то тренд – бычий, если –DI, то – медвежий. Пересечение линий +DI и –DI между собой свидетельствует о смене тренда.

3. В случаях, когда линия ADX находится между линиями +DI и –DI и при этом ее значение возрастает, то это говорит об усилении текущей тенденции на рынке, а также указывает на то, что у сделки в направлении тренда хорошие перспективы. Например, линии расположились в следующем порядке: сверху +DI, далее возрастающая линия ADX, а внизу под ними –DI, то открывается позиция на покупку, *StopLoss* можно выставить ниже последнего минимума. В обратном случае, когда сверху находится –DI, затем возрастающая линия ADX, а внизу под ними +DI, то открывается позиция на продажу, *StopLoss* выставляется выше последнего максимума.

4. Ситуация, когда на рынке присутствует явно выраженный тренд, а главная линия ADX расположена выше линий +DI и –DI и растет, указывает на то, что текущий тренд уже подходит к концу и открывать новую позицию уже поздно, а *TakeProfit*, если он установлен, лучше передвигать осторожно в направлении тенденции. В данном случае необходимо внимательно наблюдать за открытыми позициями, чтобы закрыть их при первом признаке окончания тренда.

5. Если ситуация аналогична предыдущей, но линия ADX направлена вниз и продолжает падение, то следует выходить из сделки, либо закрывать хотя бы часть ее, чтобы не потерять всю прибыль, т.к. текущий тренд себя уже исчерпал.

6. Когда все три линии переплетены между собой и находятся в нижней части графика – на рынке установилось боковое движение (флет). Пришло время использовать осцилляторы, потому что трендовые индикаторы начинают давать ложные показания. Именно такие рынки следует искать при поиске точек входа в позицию. Когда рынок оживляется, то появляются хорошие возможности для прибыльных сделок.

7. В случаях, когда линия ADX находится ниже +DI и –DI, то чем дольше она будет находиться в таком положении, тем сильнее будет новый тренд. Эксперты считают этот сигнал самым сильным на рынке. По их мнению, чем дольше ADX будет находиться в нижнем положении, тем сильнее и прочнее будет новая тенденция на рынке. Время вхождения в позицию в указанном +DI или –DI направлении определяется по тому, когда начнет расти значение ADX.

8. Ситуации, когда линия ADX находится ниже +DI и –DI, числовое значение ADX, выросло, скажем, на 4 пункта (к примеру, с 9 до 13), а сверху находится линия +DI, то это указывает на формирование новой восходящей (бычьей) тенденции. Если значение ADX выросло на 15 – 20 пунктов, то это говорит об укреплении текущей тенденции. При значениях индикатора выше 40, обычно, рынок «выдыхается», затем наступает либо коррекция, либо смена тренда.

#### **Недостатки индикатора**

К недостаткам индикатора можно отнести его запаздывание, по сравнению с другими инструментами технического анализа, которые быстрее откликаются на изменения на рынке. Еще один недостаток – т.н. «шипы». Проблема возникает при использовании индикатором, когда позиция остается открытой в течение длительного временного промежутка. Шипы часто появляются при переходе от продолжительного восходящего тренда к нисходящему (и наоборот).

Кроме того, индикатор ADX часто не способен расценить разворот, как новый тренд, направленный в другую сторону, так как при расчете учитывает те исторические данные, которые последнее время шли строго в одном направлении.



Индикатор ADX показывает, существует ли на рынке направленное движение. Поэтому лучший способ использования данного индикатора – это оценка силы существующего тренда.

## **23 Лекция №23 ( 2 часа).**

**Тема:** Комплекс технических средств.

### **1.23.1 Вопросы лекции:**

1. Описание комплекса технических средств.
2. Технические требования к технологическому объекту управления.

### **1.23.2 Краткое содержание вопросов:**

1. Описание комплекса технических средств.

Состав изделия

В состав оповещения П-166 входят:

- КТС станции местной телефонной (МТ) станции (П-166 МТ), состоящий из: блока оповещения универсального (П-166 БОУ) НЯИТ.465689.004 ТУ; блоков индивидуальных комплектов (П-166 БИК) НЯИТ.465689.003 ТУ;

- блок коммутации сообщений (П-166 БКС) НЯИТ.465653.007 ТУ;
- командный пульт управления (П-166 КПУ) НЯИТ.465673.004 ТУ;
- автоматизированный пульт управления (П-166 АПУ) НЯИТ.465673.003 ТУ;
- блок переключения РТУ (П-166 БПР) НЯИТ.468332.039 ТУ;
- приемник местного оповещения (П-166 ПМО) НЯИТ.468383.000 ТУ.

Для текущего ремонта имеются одиночные комплекты ЗИП-О, имеющие в своем составе типовые элементы замены (ТЭЗ).

ЗИП-О имеют следующие составные части: П-166 МТ, П-166 БКС, П-166 КПУ, П-166 АПУ, П-166 БПР.

ЗИП-О на П-166 МТ поставляется по отдельному заказу и имеет модификации в зависимости от числа блоков БИК в составе станции.

Для пополнения соответствующих ЗИП-О имеется ЗИП-Г, рассчитанный на 5 изделий.

2. Технические требования к технологическому объекту управления.

Особенности работы и эксплуатации составных частей

Комплекс технических средств станции МТ (П-166 МТ) предназначен для доведения речевой информации до населения по радиотрансляционной сети, до должностных лиц - на телефоны (или приемники местного оповещения П-166 ПМО), для управления электросиренами и включает в себя:

- блок оповещения универсальный (П-166 БОУ);
- блоки индивидуальных комплектов (П-166 БИК) - до 8 штук.

Блоки имеют стандартный размер 600 х 302 х 306 мм и размещаются на МТС райцентра, АТС города или сельского района.

БОУ предназначен для управления оконечными средствами оповещения (телефоны, ПМО, электросирены, РТУ, П-166 ВАУ (СГС-22 М)) и обеспечивает:

- прием команд управления и речевых сообщений с верхнего звена или КПУ (АПУ) для циркулярного или избирательного запуска оконечных устройств;
- отбор абонентских линий, передачу на телефонные аппараты вызывного сигнала и ретрансляцию речевых сообщений при снятии трубки;
- отбор абонентских линий и передачу по ним сигналов управления устройствами П-164 А для включения электросирен в непрерывном или прерывистом режимах;
- передачу по каналам ТЧ или соединительным линиям сигналов управления на БПР для переключения РТУ или звукового сопровождения телевидения и ретрансляции по ним речевых сообщений;
- управление БИК (до 8 шт.).

БИК предназначен для наращивания числа направлений и должен выполнять функции БОУ в части управления оконечными устройствами оповещения (число направлений - до 20).

Питание блоков осуществляется от сети постоянного тока напряжением 60 В.

Пример записи при заказе и в технических документах:

П-166 БОУ НЯИТ.465689.004	-	4	-	3	-	2	-	0	-	1	-	1	-	0	-	1
количество ТЭЗ ИК-02 (0 - 10) (ТЛФ)																
количество ТЭЗ ИКП (0 - 10) (ПМО)																
количество ТЭЗ ИКС (0 - 10) (П-164 А)																
количество ТЭЗ ИКД (0 - 10) (РТУ)																
количество ТЭЗ ИКР (0 - 10) (БПР)																
количество ТЭЗ МДК-05 (0 - 2) (с отбором)																
количество ТЭЗ МДКФ-5 (0 - 2) (без отбора)																
количество ТЭЗ МДКТ (-2).																

Пример записи при заказе и в технических документах:

П-166 БИК НЯИТ.465689.003		4	-	3	-	2	-	0	-	1
количество ТЭЗ ИК-02 (0 - 10) (ТЛФ)										
количество ТЭЗ ИКП (0 - 10) (ПМО)										
количество ТЭЗ ИКС (0 - 10) (П-164 А)										
количество ТЭЗ ИКД (0 - 10) (РТУ)										
количество ТЭЗ ИКР (0 - 10) (БПР)										

Общее количество ТЭЗ МДК-05, МДКФ-5 и МДКТ должно быть от одного до двух. Далее по тексту приводится обозначение ТЭЗ МДК, кроме оговоренных случаев.

Общее количество ТЭЗ ИК, ИКП, ИКС, ИКД, ИКР должно быть от одного до десяти.

Установка ТЭЗ ИК (индивидуальных комплектов) в блоки БОУ и БИК на заводе-изготовителе осуществляется в соответствии со спецификацией заказа в зависимости от типа и количества оконечных средств оповещения.

Установка модемов в блоки БОУ на заводе-изготовителе осуществляется в соответствии со спецификацией заказа в зависимости от типа линий связи (отбираемых каналов ТЧ, выделенных физических линий, коммутируемых линий АТС) и количества направлений с верхнего звена или КПУ (1 - 2).

2.2.2. Блок коммутации сообщений (П-166 БКС) заказывается при необходимости и предназначен для коммутации команд и речевых сообщений по 8 направлениям с целью создания разветвленной радиально-узловой структуры сети местного оповещения и обеспечивает:

- отбор соединительных линий, прием команд с верхнего звена управления по одному из трех независимых входов и ретрансляцию по 8 направлениям в нижнее звено (на БКС или БОУ или БПР);

- прием и ретрансляцию речевых сообщений;

- прием информации по каждому из 8 входов с нижнего звена и их ретрансляцию в верхнее звено.

Питание осуществляется от сети постоянного тока напряжением 60 В.

Пример записи при заказе и в технических документах:

П-166 БКС НЯИТ.465653.007									
количество ТЭЗ МДК-05 (0 - 11) (с отбором)									
количество ТЭЗ МДКФ-5 (0 - 11) (без отбора)									
количество ТЭЗ МДКТ (0 - 8)									

Общее количество ТЭЗ МД-05, МДКФ-5 и МДКТ должно быть от двух до одиннадцати.

Установка модемов в блоки БКС на заводе-изготовителе осуществляется в соответствии со спецификацией заказа в зависимости от типа линий связи (отбираемых каналов ТЧ, выделенных физических линий, коммутируемых линий АТС) и количества направлений для разветвления и с верхнего звена (3 - 11).

2.2.3. Командный пульт управления (П-166 КПУ) предназначен для управления оконечными средствами КТС местного оповещения и для приема информации оповещения с верхнего звена и состоит из клавиатуры и блока обмена, соединенных кабелем длиной до 5 м.

Клавиатура размещается на столе, а блок обмена, представляющий из себя моноблок с двумя ТЭЗ, в любом удобном месте.

КПУ обеспечивает:

- набор на клавиатуре команд, отбор канала ТЧ или физической линии и передачу на БОУ информации для управления сиренами, РТУ, телефонными аппаратами (или ПМО) в циркулярном и избирательном режимах;
- передачу речевых сообщений с микрофона или диктофона;
- прием с БОУ подтверждений и индикацию ответов абонентов;
- прием по каналу ТЧ или физической линии команд оповещения с КТС верхнего звена, индикацию номера принятой команды и звуковую сигнализацию о приеме;
- передачу на КТС верхнего звена автоматических и ручных подтверждений о приеме сигнала оповещения;
- обмен речевыми сообщениями с КТС верхнего звена.

Напряжение питания - 220 В переменного тока.

КПУ имеет 2 варианта поставки:

- НЯИТ.465673.004 - выполняет все перечисленные выше функции;
- НЯИТ.465673.004-02 не выполняет функции управления оконечными средствами оповещения и предназначен для приема команд, передачи подтверждений и обмена речевыми сообщениями.

2.2.4. Автоматизированный пульт управления (П-166 АПУ) предназначен для управления оконечными средствами местного оповещения и для приема информации оповещения с верхнего звена, построен на базе ПЭВМ, выполняет функции КПУ и дополнительно обеспечивает:

- предварительную подготовку, коррекцию и хранение списка абонентов, речевых сообщений и программ запуска сети;
- документирование на принтере и жестком диске результатов оповещения.

Вариант поставки П-166 АПУ-01 работает только по выделенным физическим линиям (без отбора).

2.2.5. Блок переключения РТУ (П-166 БПР) предназначен для переключения радиотрансляционного узла с основного режима работы на передачу речевой информации оповещения и обеспечивает:

- прием по каналам ТЧ или физическим линиям (2 или 4-проводным) команд и речевой информации с БОУ или БКС;
- дистанционное включение питания усилителей РТУ (до 4-х);
- передачу подтверждений о приеме команды управления;
- ретрансляцию речевой информации на вход усилителей (до 4-х).

Вместо РТУ возможно управление по НЧ-входам телевизионных передатчиков и передача речевой информации оповещения по каналам звукового сопровождения.

Напряжение питания - 220 В переменного тока.

Вариант исполнения П-166 БПР обеспечивает управление переключением радиотрансляционного узла с основного режима работы на передачу речевой информации оповещения и работает по выделенным каналам ТЧ или физическим линиям (2 или 4-проводным).

Вариант исполнения П-166 БПР-01 обеспечивает управление акустической установкой СГС-22 М (П-166 ВАУ) для включения ее в режим выдачи сигнала сирены или ретрансляции речевого сообщения и работает по выделенным каналам ТЧ или физическим линиям (2 или 4-проводным).

Вариант исполнения П-166 БПР-02 обеспечивает управление переключением радиотрансляционного узла с основного режима работы на передачу речевой информации оповещения и работает по отбираемым у основного потребителя каналам ТЧ или физическим линиям (2 или 4-проводным).

Вариант исполнения П-166 БПР-03 обеспечивает управление акустической установкой СГС-22 М (П-166 ВАУ) для включения ее в режим выдачи сиренного сигнала или ретрансляции речевого сообщения и работает по отбираемым у основного потребителя каналам ТЧ или физическим линиям (2 или 4-проводным).

Блоки П-166 БПР всех исполнений при работе по физическим линиям обеспечивают коррекцию АЧХ для расширения полосы пропускания.

2.2.6. Приемник местного оповещения (П-166 ПМО) предназначен для оповещения личного состава в помещениях и должен обеспечивать:

- прием по двухпроводной линии вызывного сигнала с БОУ и включение звуковой сигнализации о приеме;
- передачу ручного подтверждения о приеме вызывного сигнала;
- прием речевого сообщения и воспроизведение его через встроенный громкоговоритель.

ПМО размещается на стене или на столе.

Источника питания не требуется.

Развитие и внедрение цифровых транспортных сетей типа SDH и ATM приводит к тому, что (особенно в крупных городах) существует весьма разнородная структура каналов связи и телекоммуникационного оборудования. Для доступа непосредственно в цифровую сеть необходимо дополнительно устанавливать мультиплексоры серии FCD (например, Megarplex 2000/2004 фирмы RAD-дистрибьютер "Информсвязь") для выделения из двухмегабитных потоков Е1 аналоговых виртуальных каналов ТЧ, к которым и подключается аппаратура оповещения.

Мультиплексоры FCD могут быть оборудованы как электрическим (по стандарту G.703), так и оптоволоконным интерфейсом для подключения к оборудованию опорной транспортной сети, а для сопряжения с оборудованием пользователя в мультиплексор устанавливаются платы LS-6 для организации до 40 каналов ТЧ.

Таким образом, может быть создана наложенная сеть с выделенными каналами ТЧ, которые можно использовать не только для передачи информации оповещения.

Другим вариантом подключения аппаратуры оповещения при отсутствии аналоговых окончатий каналов связи или физических линий является использование модификаций КТС П-166 (БОУ, БКС) с установленным телефонным модемом МДКТ для работы по абонентским линиям АТС путем автоматического набора номера при передаче информации оповещения.

В этом случае БОУ при приеме вызова с АТС имитирует снятие трубки и происходит установление соединения через АТС.

Недостатком данного варианта является увеличение до 20 секунд времени запуска и резкое снижение вероятности доставки сообщений из-за участия АТС в установлении соединения.

## **24 Лекция №24 ( 2часа).**

**Тема:** «Комплексы технических средств»

### **1.24.1 Вопросы лекции:**

1. Схемы автоматизации.
2. Оценка надежности комплекса технических средств

### **1.24.2 Краткое содержание вопросов:**

1. Схемы автоматизации.

Функциональная схема автоматизации является основным технологическим документом, определяющим объем автоматизации технологических установок и отдельных агрегатов автоматизируемого объекта.

Функциональная схема представляет собой чертеж, на котором схематически условными обозначениями изображены технологическое оборудование, коммуникации, органы управления и средства автоматизации с указанием связей между технологическим оборудованием и элементами автоматики, а также связей между отдельными элементами автоматики. Вспомогательные устройства, такие как редукторы и фильтры для воздуха, источники питания, реле, автоматы, выключатели и предохранители в цепях питания, соединительные коробки и другие устройства и монтажные элементы, на функциональных схемах автоматизации не показывают.

Функциональную схему автоматизации технологической установки выполняют, как правило, на одном чертеже, на котором изображают аппаратуру всех систем контроля, автоматического регулирования, управления и сигнализации, относящуюся к данной технологической установке.

Для сложных технологических процессов с большим объемом автоматизации схемы могут быть выполнены раздельно по видам технологического контроля и управления. Например, отдельно выполняются схемы автоматического управления, контроля и сигнализации.

Изображение технологического оборудования и коммуникаций.

Технологическое оборудование и коммуникации на функциональных схемах автоматизации изображаются, как правило, упрощенно и в сокращенном виде, без указания отдельных технологических аппаратов и трубопроводов вспомогательного назначения. На технологических трубопроводах обычно показывают ту регулирующую и запорную аппаратуру, которая непосредственно участвует в управлении процессом, а также запорные и регулирующие органы, необходимые для определения относительного расположения мест отбора импульсов или поясняющие необходимость измерения.

Технологические аппараты и трубопроводы вспомогательного назначения показывают только в том случае, когда они механически соединяются или взаимодействуют со средствами автоматизации.

В отдельных случаях некоторые элементы технологического оборудования изображают на функциональных схемах в виде прямоугольников с указанием

наименования этих элементов. При этом около датчиков, отборных и приемных устройств указывают наименование того технологического оборудования, к которому они относятся.

Технологические коммуникации и трубопроводы жидкости и газа на схемах можно показать при их однолинейном изображении (см. табл. 2.3).

## 2. Оценка надежности комплекса технических средств.

Для более детального указания характера среды к цифровому обозначению может добавляться буквенный индекс, например: вода чистая - 1 ч, пар перегретый - 2 г, пар насыщенный - 2•н и т. п. Детали трубопроводов, арматура, теплотехнические и санитарно-технические устройства и аппаратуру показывают условными обозначениями по ГОСТ 2.785-70 и ГОСТ 2.786-70.

Для жидкостей и газов, не указанных в табл. 2.3, могут быть использованы для обозначения и другие цифры, но обязательно с необходимыми пояснениями этих новых условных обозначений.

Таблица 2.3

**Условные цифровые обозначения трубопроводов для жидкостей и газов**

Наименование среды, транспортируемой трубопроводом	Обозначение
Вода	-1-1-
Пар	-2-2-
Воздух	-3-3-
Азот	-4-4-
Кислород	-5-5-
Инертные газы:	
аргон	-6-6-
неон	-7-7-
гелий	-8-8-
криптон	-9-9-
ксенон	-10-10-
Аммиак	-11-11-
Кислота (окислитель)	-12-12-
Щелочь	-13-13-
Масло	-14-14-
Жидкое горючее	-15-15-
Горючие и взрывоопасные газы:	
водород	-16-16-
ацетилен	-17-17-
фреон	-18-18-
метан	-19-19-
этан	-20-20-
этилен	-21-21-
пропан	-22-22-
пропилен	-23-23-
бутан	-24-24-
бутилен	-25-25-
Противопожарный трубопровод	-26-26-
Вакуум	-27-27-

У изображения технологического оборудования, отдельных его элементов и трубопроводов приводятся соответствующие поясняющие подписи (наименование технологического оборудования, его номер, если таковой имеется, и др.), а также указываются стрелками направления потоков. Отдельные агрегаты и установки технологического оборудования могут быть изображены оторвано друг от друга, но при этом всегда приводятся необходимые указания на их взаимосвязь. На трубопроводах, на которых предусматривается установка отборных устройств и регулирующих органов, указываются диаметры условных проходов.

Изображение приборов и средств автоматизации. Приборы, средства автоматизации, электрические устройства и элементы вычислительной техники на функциональных схемах автоматизации изображают в соответствии с ГОСТ 21.404-85 (табл. 2.4). Этот же ГОСТ предусматривает систему построения графических и буквенных условных обозначений по функциональным признакам, выполняемым приборами (табл. 2.5).

Таблица 2.4

## Основные условные обозначения приборов и средств автоматизации










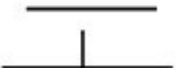

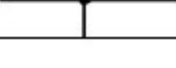
Наименование	Обозначение
Прибор, устанавливаемый вне щита (по месту): основное обозначение	
допускаемое обозначение	
Прибор, устанавливаемый на щите, пульте: основное обозначение	
допускаемое обозначение	
Исполнительный механизм. Общее обозначение	
Исполнительный механизм, который при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала: открывает регулирующий орган	
закрывает регулирующий орган	
оставляет регулирующий орган в неизменном положении	
Исполнительный механизм с дополнительным ручным приводом	
Примечание. Обозначение может применяться с любым из дополнительных знаков, характеризующих положение регулирующего органа при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала	
Линия связи. Общее обозначение	
Пересечение линий связи без соединения друг с другом	
Пересечение линий связи с соединением между собой	



Таблица 2.5

## Буквенные условные обозначения по ГОСТ 21.104-85

Обозначение	Измеряемая величина		Функции, выполняемые прибором		
	Основное обозначение	Дополнительное уточняющее обозначение	Отображение информации	Формирование выходного сигнала	Дополнительное значение
A	+	-	Сигнализация	-	-
B	+	-	-	-	-
C	+	-	-	Регулирование, управление	-
D	Плотность	Разность, перепад	-	-	-
E	Любая электрическая величина	-	+	-	-
F	Расход	Соотношение, доля, дробь	-	-	-
G	Размер, положение, перемещение	-	+	-	-
H	Ручное воздействие	-	-	-	Верхний предел измеряемой величины
I	+	-	Показание	-	-
J	+	Автоматическое переключение, обегание	-	-	-
K	Время, временная программа	-	-	+	-
L	Уровень	-	-	-	Нижний предел измеряемой величины
M	Влажность	-	-	-	-
N	Резервная буква	+	-	-	-
O	Резервная буква	+	-	-	-
P	Давление, вакуум	-	-	-	-
Q	Величина, характеризующая качество: состав, концентрацию и т. п.	Интегрирование, суммирование по времени	-	+	-
R	Радиоактивность	-	Регистрация	-	-
S	Скорость, частота	-	-	Включение, отключение, переключение, сигнализация	-
T	Температура	-	-	+	-
U	Несколько разнородных измеряемых величин	-	-	-	-
V	Вязкость	-	+	-	-
W	Масса	-	-	-	-
X	Нерекомендуемая резервная буква	-	-	-	-

В стандарте установлены два способа построения условных обозначений: упрощенный и развернутый.

Для упрощенного способа построения достаточно основных условных обозначений, приведенных в табл. 2.4, и буквенных обозначений, приведенных в табл. 2.5.

Развернутый способ построения условных графических обозначений может быть выполнен путем комбинированного применения основных (табл. 2.4 и 2.5) и дополнительных (табл. 2.6 и 2.7) обозначений.

Таблица 2.6

## Дополнительные буквенные обозначения, отражающие функциональные признаки приборов по ГОСТ 21.404-85

Наименование	Обозначение
Чувствительный элемент (первичное преобразование)	E
Дистанционная передача (промежуточное преобразование)	T
Станция управления	K
Преобразование, вычислительные функции	Y



**Дополнительные обозначения, применяемые для построения преобразователей сигналов и вычислительных устройств по ГОСТ 21.404-85**

Наименование	Обозначение
Род сигнала:	
электрический	E
пневматический	P
гидравлический	G
Виды сигнала:	
аналоговый	A
дискретный	D
Операции, выполняемые вычислительным устройством:	
суммирование	$\Sigma$
умножение сигнала на постоянный коэффициент $K$	$K$
перемножение двух и более сигналов	$\times$
деление сигналов друг на друга	$:$
возведение величины сигнала $f$ в степень $n$	$f^n$
логарифмирование	$\lg$
дифференцирование	$dx/dt$
интегрирование	$\int$
изменение знака сигнала	$x(-1)$
ограничение верхнего значения сигнала	$\max$
ограничение нижнего значения сигнала	$\min$

Сложные приборы, выполняющие несколько функций, допускается изображать несколькими окружностями, примыкающими друг к другу. Методика построения графических условных обозначений для упрощенного и развернутого способов является общей. В верхней части окружности наносятся буквенные обозначения измеряемой величины и функционального признака прибора. В нижней части окружности наносится позиционное обозначение (цифровое или буквенно-цифровое), служащее для нумерации комплекта измерения или регулирования (при упрощенном способе построения условных обозначений) или отдельных элементов комплекта (при развернутом способе построения условных обозначений).

Порядок расположения буквенных обозначений в верхней части (слева направо) следующий: обозначение основной измеряемой величины; обозначение, уточняющее (если необходимо) основную измеряемую величину; обозначение функционального признака прибора.

Функциональные признаки (если их несколько в одном приборе) также располагаются в определенном порядке, а именно: IRCSA.

Пример построения условного обозначения прибора для измерения, регистрации и автоматического регулирования перепада давления приведен на рис. 2.4.

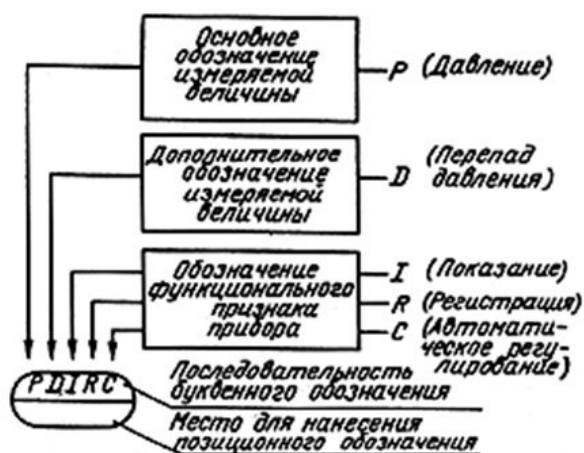


Рис. 2.4. Пример построения условного графического обозначения прибора

При построении условных обозначений приборов указывают не все функциональные признаки прибора, а лишь те, которые используются в данной схеме.

Так, при обозначении показывающих и самопишущих приборов (если функция "показание" не используется) пишут TR вместо TIR, PR вместо PIR и т. п.

При построении условного обозначения сигнализатора уровня, блок сигнализации которого является бесшкальным прибором, снабженным контактным устройством и встроенными сигнальными лампами, следует писать:

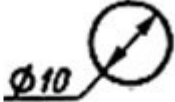
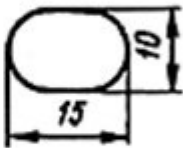
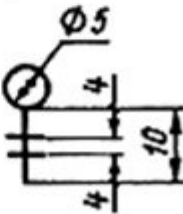
а) LS, если прибор используется только для дистанционной сигнализации отклонения уровня, включения, выключения насоса, блокировок и т. д.;

б) LA, если используются только сигнальные лампы самого прибора;

в) LSA, если используются обе функции по пп. а и б;

г) LC, если прибор используется для позиционного регулирования уровня.

Размеры графических условных обозначений приведены в табл. 2.8.

Наименование	Обозначение
Прибор: основное обозначение	
допускаемое обозначение	
Исполнительный механизм	

Примеры построения условных обозначений приведены в табл. 2.9.

Таблица 2.9

## Примеры построения условных обозначений

Наименование	Обозначение
Первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения температуры, установленный по месту (термометр термоэлектрический, термометр сопротивления, <u>термобаптон</u> манометрического термометра, датчик пирометра и т. п.)	
Прибор для измерения температуры, показывающий, установленный по месту (термометр ртутный, термометр манометрический и т. п.)	
Прибор для измерения температуры, показывающий, установленный на щите (милливольтметр, логометр, потенциометр, мост автоматический и т. п.)	
Прибор для измерения температуры, <u>бесшкальный</u> , с дистанционной передачей показаний, установленный по месту (термометр манометрический <u>бесшкальный</u> с пневмо- и электропередачей)	
Прибор для измерения температуры, <u>одноточечный</u> , регистрирующий, установленный на щите (милливольтметр самопишущий, логометр, потенциометр, мост автоматический и т. п.)	
Прибор для измерения температуры с автоматическим обегаящим устройством, регистрирующий, установленный на щите (потенциометр многооточечный самопишущий, мост автоматический и т. п.)	
Прибор для измерения температуры, регистрирующий, установленный на щите (термометр манометрический, милливольтметр, логометр, потенциометр, мост автоматический и т. п.)	
Регулятор температуры, <u>бесшкальный</u> , установленный по месту (например, dilatометрический регулятор температуры)	
Комплект для измерения температуры, регистрирующий, регулирующий, снабженный станцией управления, установленный на щите (например, вторичный прибор и регулирующий блок системы "Старт")	
Прибор для измерения температуры, <u>бесшкальный</u> , с контактным устройством, установленный по месту (например, реле температурное)	
<u>Байпасная</u> панель дистанционного управления, установленная на щите	
Переключатель электрических цепей измерения (управления), переключатель для газовых (воздушных) линий, установленный на щите	
Прибор для измерения давления (разрежения), показывающий, установленный по месту (любой показывающий манометр, <u>дифманометр</u> , тягомер, <u>напоромер</u> , вакуумметр и т. п.)	
Прибор для измерения перепада давления, показывающий, установленный по месту (например, <u>дифманометр</u> показывающий)	
Прибор для измерения давления (разрежения), <u>бесшкальный</u> , с дистанционной передачей показаний, установленный по месту (например, манометр, <u>дифманометр бесшкальный</u> с пневмо- или электропередачей)	
Прибор для измерения давления (разрежения), регистрирующий, установленный на щите (например, самопишущий манометр или любой вторичный прибор для регистрации давления)	
Прибор для измерения давления с контактным устройством, установленный по месту (например, реле давления)	
Прибор для измерения давления (разрежения), показывающий, с контактным устройством, установленный по месту ( <u>электроконтактный</u> манометр, вакуумметр и т. п.)	
Регулятор давления, работающий без использования постороннего источника энергии (регулятор давления прямого действия), "до себя"	
Первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения расхода, установленный по месту (диафрагма, сопло, труба Вентури, датчик индукционного расходомера и т. п.)	
Прибор для измерения расхода, <u>бесшкальный</u> , с дистанционной передачей показаний, установленный по месту (например, <u>бесшкальный дифманометр</u> или ротаметр с пневмо- или электропередачей)	



Прибор для измерения соотношения расходов, регистрирующий, установленный на щите (любой вторичный прибор для регистрации соотношения расходов)

Прибор для измерения расхода, показывающий, установленный по месту (например, дифманометр или ротаметр показывающий)

Прибор для измерения расхода, интегрирующий, установленный по месту (например, любой бесшкальный счетчик-расходомер с интегратором)

Прибор для измерения расхода, показывающий, интегрирующий, установленный по месту (например, показывающий дифманометр с интегратором)

Прибор для измерения расхода, интегрирующий, с устройством для выдачи сигнала после прохождения заданного количества вещества, установленный по месту (например, счетчик-дозатор)

Первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения уровня, установленный по месту (например, датчик электрического или емкостного уровнемера)

Прибор для измерения уровня, показывающий, установленный по месту (например, манометр или дифманометр, используемый для измерения уровня)

Прибор для измерения уровня с контактным устройством, установленный по месту (например, реле уровня)

Прибор для измерения уровня, бесшкальный, с дистанционной передачей показаний, установленный по месту (например, уровнемер бесшкальный с пнеumo- или электропередачей)

Прибор для измерения уровня, бесшкальный, регулирующий, с контактным устройством, установленный по месту (например, электрический регулятор - сигнализатор уровня. Буква Н в данном примере означает блокировку по верхнему уровню)

Прибор для измерения уровня, показывающий, с контактным устройством, установленный на щите (например, вторичный показывающий прибор с сигнальным устройством. Буквы Н и L означают сигнализацию верхнего и нижнего уровней)

Прибор для измерения плотности раствора, бесшкальный, с дистанционной передачей показаний, установленный по месту (например, датчик плотнoмера с пнеumo- или электропередачей)

Прибор для измерения размеров, показывающий, установленный по месту (например, показывающий прибор для измерения толщины стальной ленты)

Прибор для измерения любой электрической величины, показывающий, установленный по месту (надпись, расшифровывающие конкретную измеряемую величину, располагаются либо рядом с прибором, либо в виде таблицы на поле чертежа)

Прибор для управления процессом по временной программе, установленный на щите (командный электропневматический прибор КЭП, многоцепное реле времени и т. п.)

Прибор для измерения влажности, регистрирующий, установленный на щите (например, вторичный прибор влагомера)

Первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения качества продукта, установленный по месту (например, датчик pH-метра)

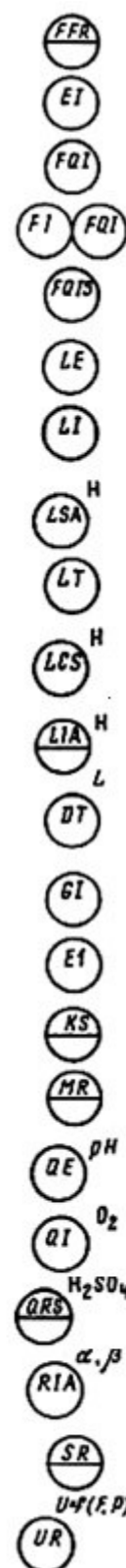
Прибор для измерения качества продукта, показывающий, установленный по месту (например, газоанализатор показывающий для контроля содержания кислорода в дымовых газах)

Прибор для измерения качества продукта, регистрирующий, регулирующий, установленный на щите (например, вторичный самопишущий прибор регулятора концентрации серной кислоты в растворе)










Прибор для измерения радиоактивности, показывающий, с контактным устройством, установленный по месту (например, прибор для показания и сигнализации предельно допустимых концентраций  $\alpha$ - и  $\beta$ -лучей)

Прибор для измерения частоты вращения привода, регистрирующий, установленный на щите (например, вторичный прибор тахогенератора)

Прибор для измерения нескольких разнородных величин, регистрирующий, установленный по месту (например, самопишущий дифманометр-расходомер с дополнительной записью давления и температуры пара. Надпись, расшифровывающая измеряемые величины, наносится либо справа от прибора, либо на поле схемы в примечании)





Прибор для измерения вязкости раствора, показывающий, установленный по месту (например, вискозиметр показывающий)	
Прибор для измерения массы продукта, показывающий, с контактным устройством, установленный по месту (например, устройство электро-тензометрическое или сигнализирующее)	
Прибор для контроля погасания факела в печи, бесшкальный, с контактным устройством, установленный на щите (например, вторичный прибор запально-защитного устройства. Применение резервной буквы В должно быть оговорено на поле схемы)	
Преобразователь сигнала, установленный на щите (входной сигнал электрический, выходной сигнал тоже электрический; например, преобразователь измерительный, служащий для преобразования термо-ЭДС термометра термоэлектрического в сигнал постоянного тока)	
Преобразователь сигнала, установленный по месту (входной сигнал пневматический, выходной сигнал электрический)	
Вычислительное устройство, выполняющее функцию умножения на постоянный коэффициент К	
Пусковая аппаратура для управления электродвигателем (например, магнитный пускатель, контактор и т. п. Применение резервной буквы должно быть оговорено на поле схемы)	
Аппаратура, предназначенная для ручного дистанционного управления, установленная на щите (кнопка, ключ управления, задатчик и т. п.)	
Аппаратура, предназначенная для ручного дистанционного управления, снабженная устройством для сигнализации, установленная на щите (кнопка со встроенной лампочкой, ключ управления с подсветкой и т. п.)	

Щиты, стивы, пульта управления на функциональных схемах изображаются условно в виде прямоугольников произвольных размеров, достаточных для нанесения графических условных обозначений устанавливаемых на них приборов, средств автоматизации, аппаратуры управления и сигнализации.

Комплектные устройства (машины централизованного контроля, управляющие машины, полукомплекты телемеханики и др.) обозначаются на функциональных схемах также в виде прямоугольника с указанием внутри него типа устройства и документации завода-изготовителя.

Функциональные связи между технологическим оборудованием и установленными на нем первичными преобразователями, а также со средствами автоматизации, установленными на щитах и пультах, на схемах показываются тонкими сплошными линиями. При этом каждая связь обозначается одной линией независимо от фактического числа проводов или труб, осуществляющих эту связь. К условным обозначениям приборов и средств автоматизации для входных и выходных сигналов линии связи допускается подводить с любой стороны, в том числе сбоку и под углом. Линии связи должны наноситься на чертежи по кратчайшему расстоянию и проводиться с минимальным числом пересечений. При этом допускается пересечение линиями связи изображений технологического оборудования и коммуникаций. Пересечение линиями связи условных обозначений приборов и средств автоматизации не допускается.

Позиционное обозначение приборов и средств автоматизации. Всем приборам и средствам автоматизации, изображенным на функциональных схемах, присваивают позиционные обозначения (позиции), сохраняющиеся во всех материалах проекта.

На стадии проекта позиционные обозначения выполняют арабскими цифрами в соответствии с нумерацией в заявочной ведомости приборов, средств автоматизации и электроаппаратуры.

На стадии рабочей документации при одностадийном проектировании позиционные обозначения приборов и средств автоматизации образуются из двух частей: обозначения арабскими цифрами номера функциональной группы и строчными буквами русского алфавита - номера приборов и средств автоматизации в данной функциональной группе.

Буквенные обозначения присваивают каждому элементу функциональной группы в порядке алфавита в зависимости от последовательности прохождения сигнала - от устройств получения информации к устройствам воздействия на управляемый процесс

(например, приемное устройство - датчик, вторичный преобразователь - задатчик - регулятор - указатель положения - исполнительный механизм, регулирующий орган).

Позиционные обозначения отдельных приборов и средств автоматизации, таких как регулятор прямого действия, манометр, термометр и другие, состоят только из порядкового номера.

Позиционные обозначения должны присваиваться всем элементам функциональных групп, за исключением: отборных устройств, приборов и средств автоматизации, поставляемых комплектно с технологическим оборудованием; регулирующих органов и исполнительных механизмов, входящих в данную систему автоматического управления, но заказываемых и устанавливаемых в технологических частях проекта.

Показанная на функциональных схемах электроаппаратура на стадии рабочей документации или при одностадийном проектировании обозначается индексами, принятыми в принципиальных электрических схемах.

При определении границ каждой функциональной группы следует учитывать следующее обстоятельство: если какой-либо прибор или регулятор связан с несколькими датчиками или получает дополнительные воздействия по другим параметрам (например, корректирующий сигнал), то все элементы схемы, осуществляющие дополнительные функции, относятся к той функциональной группе, на которую они оказывают воздействие.

Регулятор соотношения, в частности, входит в состав той функциональной группы, на которую оказывается ведущее воздействие по независимому параметру. То же относится и к прямому цифровому управлению, где входным и выходным цепям контура регулирования присваивается одна и та же позиция.

В системах централизованного контроля с применением вычислительной техники, в схемах телеизмерения, в сложных схемах автоматического управления с общими для разных функциональных групп устройствами все общие элементы выносятся в самостоятельные функциональные группы.

Позиционные обозначения в функциональных схемах проставляют рядом с условными графическими обозначениями приборов и средств автоматизации (по возможности с правой стороны или над ними).

Примеры выполнения функциональных схем автоматизации. Функциональные схемы автоматизации могут разрабатываться с большей или меньшей степенью детализации. Однако объем информации, приведенный на схеме, как правило, обеспечивает полное представление о принятых основных решениях по автоматизации данного технологического процесса и возможность составления на стадии проекта заявочных ведомостей приборов и средств автоматизации, трубопроводной арматуры, щитов и пультов, основных монтажных материалов и изделий, а на стадии рабочей документации - всего комплекса проектных материалов, предусмотренных в составе проекта.

Функциональные схемы автоматизации могут быть выполнены двумя способами:

- 1) с изображением щитов и пультов управления при помощи условных прямоугольников (как правило, в нижней части чертежа), в пределах которого показываются устанавливаемые на них средства автоматизации;

- 2) с изображением средств автоматизации на технологических схемах вблизи отборных и приемных устройств без построения прямоугольников, условно изображающих щиты, пульты, пункты контроля и управления.

Выполнение схем по первому способу. На схеме показывают все приборы и средства автоматизации, входящие в состав функционального блока или группы, а также место их установки. Преимуществом этого способа является большая наглядность, в значительной степени облегчающая чтение схемы и работу с проектными материалами.

Приборы и средства автоматизации, встраиваемые в технологическое оборудование и коммуникации или механически связанные с ним, изображаются на чертеже в непосредственной близости от них. К таким средствам автоматизации относятся: отборные устройства, датчики, воспринимающие воздействие измеряемых и регулируемых величин (измерительные сужающие устройства, ротаметры, счетчики и т. п.), исполнительные механизмы, регулирующие и запорные органы.

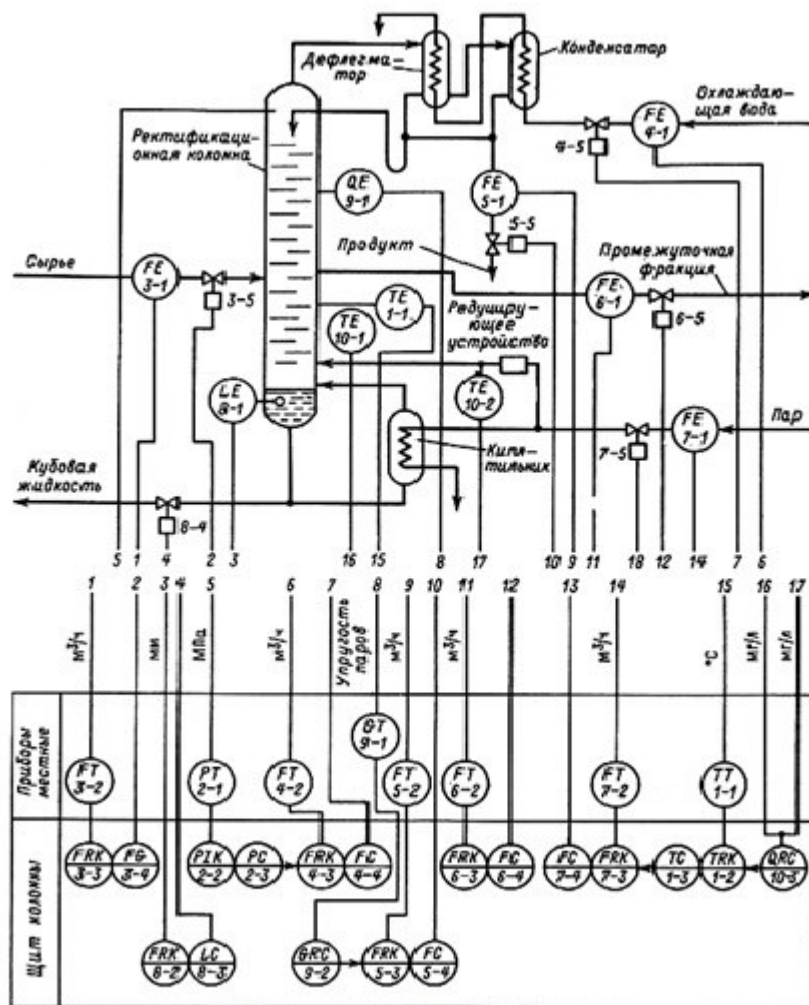
Прямоугольники щитов и пультов располагают в такой последовательности, чтобы при размещении в их пределах обозначений приборов и средств автоматизации обеспечивались наибольшая простота и ясность схем и минимум пересечений линий связи. В прямоугольниках могут быть указаны номера чертежей общих видов щитов и пультов. В каждом прямоугольнике с левой стороны дано его наименование.

Приборы и средства автоматизации, которые расположены вне щитов и не связаны непосредственно с технологическим оборудованием и трубопроводами, условно показываются в прямоугольнике "Приборы местные".

Приборы и средства автоматизации, поставляемые комплектно с технологическим оборудованием, заказу по данному проекту не подлежат.

При построении сложных функциональных схем автоматизации во избежание большого числа изломов и пересечений линий связи обрывают и нумеруют (рис. 2.5). Номера линий связи располагают в горизонтальных рядах. Номера линий связи нижнего ряда располагают в возрастающем порядке, а верхних рядов - в любом.

Для облегчения понимания существа автоматизируемого объекта и возможности выбора диапазона измерения и шкал приборов, а также уставок регуляторов на участках линий связи над верхним прямоугольником ("Приборы местные") указывают предельные рабочие (максимальные и минимальные) значения измеряемых и регулируемых технологических параметров при установившихся режимах работы (рис. 2.5). Эти значения указывают в единицах шкалы выбираемого прибора или в международной системе единиц без буквенных обозначений.



2.5. Пример выполнения функциональной схемы автоматизации по первому способу

На схемах автоматизации с правой стороны чертежа приводятся необходимые пояснения: ссылки, документы, на основании которых разработаны схемы автоматизации, краткая техническая характеристика автоматизируемого объекта, таблицы, диаграммы и т. п.

При вычерчивании схем автоматизации, как правило, избегают дублирования одинаковых ее частей, относящихся как к технологическому оборудованию, так и к средствам автоматизации.

Над основной подписью по ее ширине сверху вниз на первом листе схемы в необходимых случаях помещают также таблицу условных обозначений, не предусмотренных стандартами. В отдельных случаях таблицы нестандартизированных условных обозначений могут быть выполнены на отдельных листах формата 11.

Пояснительный текст располагают обычно над таблицей условных обозначений (или над основной надписью) или в другом свободном месте.

Выполнение схем по второму способу. При этом способе (рис. 2.6), хотя он и дает только общее представление о принятых решениях по автоматизации объекта, достигается сокращение объема документации. Чтение схем автоматизации, выполненных таким образом, затруднено, так как они не отображают организацию пунктов контроля и управления объектом. При втором способе позиционные обозначения элементов схемы в каждом контуре регулирования выполняют арабскими цифрами, а исполнительные механизмы обозначения не имеют.



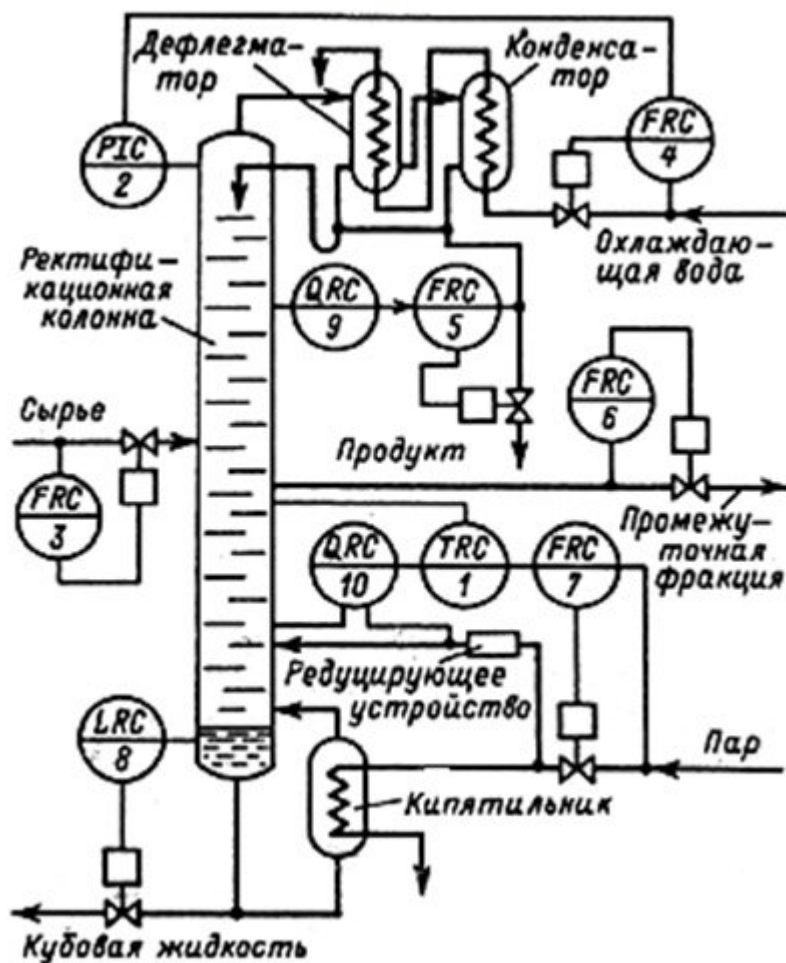


Рис. 2.6. Пример выполнения функциональной схемы автоматизации по второму способу.

Для работы по схемам автоматизации необходимо иметь пояснительную записку к проекту, опись чертежей и спецификацию на приборы, средства автоматизации, электроаппаратуру и запорную арматуру.

При чтении схем автоматизации рекомендуется соблюдать следующую последовательность:

прочитать все надписи - основную надпись (штамп), примечания, ссылки на относящиеся чертежи и другие дополнительные пояснения, имеющиеся на чертеже;

изучить технологический процесс и взаимодействие всех участвующих в нем аппаратов, агрегатов и установок, начиная с ознакомления с пояснительными записками к проекту автоматизации и технологической части;

определить организацию пунктов контроля и управления данным технологическим процессом;

установить перечень узлов контроля, сигнализации и автоматического регулирования и управления электроприводами, предусмотренных данной схемой.

По спецификациям на приборы, средства автоматизации, электроаппаратуру и запорную арматуру выявляют: технические средства, с помощью которых реализуются эти узлы; характер взаимодействия отдельных технических средств автоматики с элементами технологического оборудования; связь узлов данной схемы автоматизации между собой и с узлами других схем; номер чертежа принципиальной схемы каждого узла.

Номера чертежей, относящихся к данной схеме автоматизации, устанавливают по описи чертежей и пояснительной записке к проекту автоматизации. Встречаются случаи выполнения чертежей схем автоматизации, когда номер чертежа принципиальной схемы

указывается на линии связи, соединяющей регулирующее устройство с исполнительным механизмом.

Получаемая при изучении структурных и функциональных схем автоматизации информация дает общее представление об автоматизируемом объекте и позволяет перейти к изучению принципиальных схем отдельных функциональных узлов.

## **25 Лекция №25 ( 2 часа).**

**Тема:** «Промышленные информационные сети».

### **1.1.1 Вопросы лекции:**

1. Промышленные информационные сети, их назначение и классификация
2. Эталонная модель архитектуры открытых систем.

### **1.1.2 Краткое содержание вопросов:**

#### **1. Промышленные информационные сети, их назначение и классификация**

Требование *совместимости* и *взаимодействия* прикладных программ привело к разработке системы стандартов «Интерфейс переносимой операционной системы» (свод POSIX-стандартов) и стандартов коммуникаций. Однако эти стандарты не охватывали требуемый спектр потребностей даже в рамках установленной для них области распространения. Дальнейшее развитие стандартизации в области информационных технологий и формирования принципа открытых систем нашло выражение в создании *функциональной среды открытых систем* (OpenSystemsEnvironment — OSE) и построении соответствующей модели, которая охватывала бы стандарты и спецификации по обеспечению возможностей ИТ [1-7].

Модель ориентирована на руководителей ИТ-служб и менеджеров, ответственных за приобретение/разработку, внедрение, эксплуатацию и развитие информационных систем, состоящих из неоднородных программно-аппаратных и коммуникационных средств.

Прикладные программы в среде OSE могут включать:

- ☐ системы реального времени (RealTimeSystem — RTS) и встроенные системы (EmbeddedSystem — ES);
- ☐ системы обработки транзакций (Transaction Processing System — TPS);
- ☐ системы управления базами данных (DataBase Management System — DBMS);
- ☐ разнообразные системы поддержки принятия решения (DecisionSupportSystem — DSS);
- ☐ управленческие информационные системы административного (ExecutiveInformationSystem — EIS) и производственного (EnterpriseResourcePlanning — ERP) назначения;
- ☐ географические информационные системы (GeographicInformationSystem — GIS);
- ☐ другие специализированные системы, в которых могут применяться спецификации, рекомендуемые международными организациями.

С точки зрения производителей и пользователей среда OSE является достаточно *универсальной функциональной инфраструктурой*, регламентирующей и облегчающей разработку или приобретение, эксплуатацию и сопровождение прикладных защищенных систем, которые:

- ☐ выполняются на любой используемой платформе поставщика или пользователя;
- ☐ используют любую операционную систему;
- ☐ обеспечивают доступ к базе данных и управление данными;
- ☐ взаимодействуют с пользователями через стандартные интерфейсы в системе общего интерфейса «пользователь — компьютер».

Таким образом, среда OSE поддерживает «переносимые, масштабируемые и взаимодействующие прикладные компьютерные программы через стандартные функциональности, интерфейсы, форматы данных, протоколы обмена и доступа».

Нормативными документами в этом случае могут быть международные, национальные стандарты и другие общедоступные спецификации и соглашения. Эти стандарты и спецификации доступны любому разработчику, поставщику и пользователю вычислительного и коммуникационного программного обеспечения и оборудования при построении систем и средств, удовлетворяющих критериям OSE.

Прикладные программы и средства OSE *переносимы*, если они реализованы на стандартных платформах и написаны на стандартизованных языках программирования. Они работают со стандартными интерфейсами, которые связывают их с вычислительной средой, читают и создают данные в стандартных форматах и передают их в соответствии со стандартными протоколами, выполняющимися в различных вычислительных средах.

Прикладные программы и средства OSE *масштабируемы* в среде различных платформ и сетевых конфигураций — от персональных компьютеров до мощных серверов, от локальных систем для распараллеленных вычислений до крупных GRID-систем. Разницу в объемах вычислительных ресурсов на любой платформе пользователь может заметить лишь по некоторым косвенным признакам, например по скорости выполнения прикладной программы, но никогда — по отказам работы вычислительной системы.

Прикладные программы и средства OSE *взаимодействуют* друг с другом, если они предоставляют услуги пользователю, используя стандартные протоколы, форматы обмена данными и интерфейсы систем совместной или распределенной обработки данных для целенаправленного использования информации. Процесс передачи информации с одной платформы на другую через локальную вычислительную сеть или комбинацию любых сетей (вплоть до глобальных) должен быть абсолютно прозрачен для прикладных программ и пользователей и не вызывать технических трудностей при использовании. При этом местонахождение и расположение других платформ, операционных систем, баз данных, программ и пользователей не должно иметь значения для используемого прикладного средства.

### 3.2. Эталонная модель архитектуры открытых систем.

Рабочая группа 1003.0 POSIX комитета IEEE разработала эталонную модель OSE (OpenSystemsEnvironment / ReferenceModel — OSE/RM). Эта модель описана на международном уровне в техническом отчете TR 14250 комитета JTC1.

В описании модели используется два типа элементов:

- *логические объекты*, включающие в себя прикладное программное обеспечение (ППО), прикладные платформы и внешнюю функциональную среду;

- *интерфейсы*, содержащие интерфейс прикладной системы и интерфейс обмена с внешней средой.

Логические объекты представлены тремя классами, интерфейсы — двумя. В контексте эталонной модели OSE прикладное программное обеспечение включает в себя непосредственно коды программ, данные, документацию, тестирующие, вспомогательные и обучающие средства (рис. 1.6).

*Прикладная платформа* состоит из совокупности программно- аппаратных компонентов, реализующих системные услуги, которые используются ППО. Понятие прикладной платформы не включает конкретной реализации функциональных возможностей. Например, платформа может представлять собой как один процессор, используемый несколькими приложениями, так и большую распределенную многопроцессорную систему.

*Внешняя среда платформ* состоит из элементов, внешних по отношению к ППО и прикладной платформе (рабочие станции, внешние периферийные устройства сбора,

обработки и передачи данных, объекты коммуникационной инфраструктуры, услуги других платформ, операционных систем или сетевых устройств).

*Интерфейс прикладной программы* (ApplicationProgramInterface — API) является интерфейсом между ППО и прикладной платформой. Основная функция API — поддержка переносимости ППО. Классификация API производится в зависимости от типа реализуемых услуг: взаимодействие в системе «пользователь — компьютер», обмен информацией между приложениями, внутренние услуги системы, коммуникационные услуги.

*Интерфейс обмена с внешней средой* (ExternalEnvironmentInterface — EEI) обеспечивает передачу информации между прикладной платформой и внешней средой, а также между прикладными программами, которые выполняются на одной платформе.

Эталонная модель OSE/RM реализует и регулирует взаимоотношения «поставщик — пользователь». Логические объекты прикладной платформы и внешней среды являются поставщиком услуг, ППО — пользователем. Они взаимодействуют с помощью набора API и EEI интерфейсов, определенных моделью POSIX OSE.

Интерфейс EEI представляет собой совокупность всех трёх интерфейсов (CSI, HCI, ISI), каждый из которых имеет характеристики, определяемые внешним устройством:

□ *интерфейс коммуникационных сервисов* (CommunicationServiceInterface — CSI) — интерфейс, который обеспечивает сервис для реализации взаимодействия с внешними системами. Реализация взаимодействия осуществляется с помощью стандартизации протоколов и форматов данных, которыми можно обмениваться по установленным протоколам;

□ *человеко-машинный интерфейс* (HumanComputerInterface — HCI) — интерфейс, через который осуществляется физическое взаимодействие пользователя и системы программного обеспечения;

□ *интерфейс информационных сервисов* (InformationServiceInterface — ISI) — граница взаимодействия с внешней памятью долговременного хранения данных. Обеспечивается стандартизацией форматов и синтаксиса представления данных.

Прикладная платформа через оба основных интерфейса (CSI и ISI) предоставляет сервисы для различных применений.

Среда OSE обеспечивает функционирование ППО, используя определенные правила, компоненты, методы сопряжения элементов системы (PlugCompatibility) и модульный подход к разработке программных и информационных систем. Достоинствами модели являются выделение внешней среды в самостоятельный элемент, имеющий определенные функции и соответствующий интерфейс, и возможность ее применения для описания систем, построенных на основе архитектуры «клиент-сервер». Относительный недостаток — еще не все требуемые спецификации представлены на уровне международных гармонизированных стандартов.

## **26 Лекция №26 ( 2часа).**

**Тема:** «Промышленные информационные сети»

### **1.1.1 Вопросы лекции:**

1. Топология промышленных информационных сетей и их основные характеристики
2. Моноканалы, технические средства и методы управления доступа к моноканалам

### **1.1.2 Краткое содержание вопросов:**

1. Топология промышленных информационных сетей и их основные характеристики.

Методы доступа к моноканалу.

На подуровне доступа к среде канального уровня реализуются методы доступа к моноканалу. Моноканал - это общая среда передачи для устройств в одном логическом сегменте.

Все сегмента делятся на канальные, кабельные и логические. Кабельный сегмент – это любой отрезок кабеля, в котором сигнал передается без повторения.

Канальный сегмент – это кабельный сегмент без нагрузки. Логический сегмент – это сегмент сети в рамках которого действует какой-либо метод доступа. В сети Ethernet логический сегмент называется доменом коллизий. На домены коллизий сеть разбивают такие устройства как: сервера, коммутаторы, маршрутизаторы.

Методы доступа определяют очередность передачи в рамках одного моноканала. Все методы доступа делятся на случайные и детерминированные. Разновидности сети Ethernet:

При построении локальной сети руководствуются правилами. И для сети на толстом коаксиальном кабеле это правило 5-4-3. В сети не может быть более 5 последовательно соединенных кабельных сегментов, не более 4 повторителей и только 3 сегмента могут быть нагружены. Длина каждого кабельного сегмента не более 500 метров.

Правила корректной конфигурации выбирается с учетом ограничений на длину кабельного сегмента в зависимости от скорости модуляции, чтобы окно конфликтов не превышало время передачи преамбулы.

10Base-2. Тонкий коаксиальный кабель.

10Base-T – это сеть звездообразной топологии на витой паре с использованием концентраторов.

Правило корректной конфигурации это сеть на 4 хабах. Сеть построенная с нарушением правил корректной конфигурации может функционировать при условии что время двойного оборота сигнала не больше допустимого. Для этого рассчитывают 2 коэффициента: PDV(время двойного оборота сигнала), PVV(время сокращения межкадрового сигнала). 10Base-F (-FL, -FB) – сеть построенная на оптоволокне. Топология звездообразная. Строится на хабах. В оптоволокне используется другой способ кодирования сигнала. Используется 4B/5B.

10Broad-36 – широкополосная сеть. Используется на телевизионном коаксиальном кабеле.

2. Моноканалы, технические средства и методы управления доступа к моноканалам

Etherway – сеть используется в качестве внутренней шины для коммутатора с общей шиной. Все узлы сети разбиваются на группы, каждая группа передает только в свой кабель а принимает по любому кабелю, что приводит к существенному сокращению числа коллизий.

RadioEthernet. Максимальная среда кабельного сегмента зависит от мощности приемопередатчика без видимых преград. В радиосети основной проблемой является обеспечение конфиденциальности передаваемых данных. Чтобы обеспечить конфиденциальность данные кодируются по протоколу WEP или WPA. Этот протокол является дополнительным. Передаваемые данные кодируются передатчиком с использованием генераторов случайной последовательности PING. Для кодирования сервер выдает с определенной периодичностью всему узлам радио домена. В каждой передаче передатчик случайным образом генерирует вектор инициализации. Вектор инициализации и секретный ключ объединяются и представляют собой начальный ключ для запуска генератора. Генератор выдает случайную последовательность, число бит которой равно числу бит кадра с учетом CRC кода. Затем ключевая последовательность побитно складывается с открытым текстом операцией сумма по модулю два. Зашифрованный текст передается вместе с вектором инициализации, на приемной стороне вектор инициализации отсоединяется и все действия повторяются. Поскольку операция сумма по модулю два имеет следующее свойство  $A+B+B=A$ , то в результате таких же

действий получается открытый текст. Если прослушивать линию от одного передатчика, то можно вычислить секретный ключ.

100Base-T – 100 Мбит. Звездообразная топология. Переход в FastEthernet был обусловлен изменением способа кодирования. Кодирование является двухуровневым. Сначала кодируют групповым кодом а затем потенциальным. 4В/5В -> NRZ (БВН-1).

Поскольку вместо 4 бит передается 5 на физическом уровне возникает избыточное кодирование. Поэтому на канальном уровне скорость модуляции 100 Мбит/с а на физическом 125 Мбит/с. Для разных разновидностей протоколов существуют полудуплексный или дуплексный режимы передачи.

Правила корректной конфигурации зависит от типа используемого оборудования. Если FASTEthernet строится на концентраторах то правило одного или двух хабов в зависимости от класса концентраторов. Концентраторы первого класса соединяют сегменты с разным типом кодирования, поэтому они дают большую задержку и в этом случае используется правило одного хаба.

Концентраторы второго класса соединяют сегменты с одинаковым способом кодирования, поэтому используется правило двух хабов. При соединении двух хабов расстояние между ними может быть не более 5 метров. При таком ограничении на сеть распределенные сети строить невозможно, поэтому переходят на другой тип оборудования, которое делит сеть на домены коллизий (коммутаторов, маршрутизаторов).

При использовании коммутаторов пропускная способность сети может приближаться к единице при полудуплексном режиме, а при полном дуплексе равняется единице.

При дуплексном режиме способ кодирования позволяет отслеживать повреждение кабеля. Два JK символа ограничивают состояние незанятости канала от состояния передачи кадра. В конце кадра добавляется Т символ а весь межкадровый интервал забивается символами Idl.

Для гигабитной и десяти гигабитной сети используются более совершенное двухуровневое кодирование, только дуплексный канал связи и среда передачи с повышенной скоростью распространения сигнала.

Если для гигабитной сети используется хаб то применяется правило одного хаба и сегмент коллизий сокращается до 25 м.

В гигабитной и десяти гигабитной Ethernet используются все 4 витые пары. Категория витой пары для гигабит Ethernet может быть 5е или FTP. Для десяти гигабитной 6 и выше.

Гигабит Ethernet используется другой метод доступа, который называется DemandPriority. Суть метода сводится к синхронизации и обнаружению обрыва линии. Этот метод описывается в протоколе 802.12 и в этом случае изменяется формат кадра сети Ethernet. Вместо незначащих полей преамбулы и ограничителя добавляются другие специальные поля в зависимости от метода кодирования.

## 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

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

**Тема:** «Исследование схем однофазных неуправляемых и управляемых выпрямителей»

**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 тиристор), 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 №2,3 ( 4 часа).

**Тема:** «Исследование схем пассивных и активных сглаживающих фильтров»

**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

$$K_{сгл} = f(I_{cp}),$$

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

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

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

$K'_n, K_n$  - 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

$$K_{сгл} = K'_{n} / K_n ;$$

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

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



$K'n, Kп$  - 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 №4,5 ( 4 часа).

**Тема:** «Исследование схем компенсационных стабилизаторов напряжения»

**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  
$$U_{вых} = f(I_n).$$
 Ток изменяют от 0 до  $I_{nmax}$ . 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  $I_{nmax}$ , при котором срабатывает схема защиты. Определить ток нагрузки, который протекает через транзистор

V8 после срабатывания защиты. Рассчитать мощность, которая рассеивается на этом транзисторе.

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

## **2.4 Лабораторная работа №6,7 ( 4 часа).**

**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  $U_{выхтх}$  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.

## 2.5 Лабораторная работа №8,9( 4 часа).

**Тема:** «Исследование дифференциального усилительного каскада на биполярных транзисторах»

**2.5.1 Цель работы:** Исследование основных параметров и характеристик дифференциальных усилительных каскадов на биполярных транзисторах.

### 2.5.2 Задачи работы:

1. Изучить принцип работы схем дифференциальных усилительных каскадов на БТ.
2. Изучить порядок расчета схем дифференциальных усилительных каскадов БТ.
3. Рассчитать значения основных параметров для названных схем усилителей  $K_u$ ,  $R_{вх}$  и  $R_{вых}$ , работающих в области средних частот ( $f=1000 \text{ Гц}$ ).
4. Нарисовать схемы исследуемых дифференциальных усилительных каскадов.
5. Ознакомиться с порядком сборки схем на стенде.

### 2.5.3 Описание (ход) работы:

1. Собрать схемы двух источников питания и генератора синусоидальных колебаний (см. паспорт к стенду). Выставить заданное преподавателем напряжение питания усилительных каскадов.

2. Собрать схему дифференциального усилителя, представленную на рис. 6.3, 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 напряжения.

Рассчитать коэффициент усиления каскада по напряжению.

4. 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.

5. 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.

6. Собрать схему дифференциального усилителя с источником тока в цепи эмиттера, представленную на рис. 6.4.

7. При исследовании данной схемы выполнить п.п. 3 - 5.

8. Сравнить результаты теоретических расчетов и практических исследований.

Сформулировать выводы по каждому пункту рабочего задания.

## 2.6 Лабораторная работа №10,11 ( 4 часа).

**Тема:** «Исследование двухтактного бестрансформаторного усилителя мощности»

**2.6.1 Цель работы:** Исследование основных параметров и характеристик двухтактных усилителей мощности.

### 2.6.2 Задачи работы:

1. Изучить принцип работы схем двухтактных усилителей мощности на БТ.
2. Изучить порядок расчета схем двухтактных усилителей.
3. Нарисовать схемы исследуемых двухтактных усилителей мощности.
4. Ознакомиться с порядком сборки схем на стенде.

### 2.6.3 Описание (ход) работы:

1. Собрать схемы двух источников питания и генератора синусоидальных колебаний (см. паспорт к стенду). Выставить заданное преподавателем напряжение питания усилителей мощности.
2. Собрать схему двухтактного усилителя, представленную на рис. 7.2.
3. Заменить с помощью амперметра А1 ток через нагрузку при отсутствии входного сигнала. Пояснить полученное значение.
4. Подать на вход усилителя синусоидальный сигнал частотой  $f = 1\text{кГц}$  и амплитудой не более 3В. Снять и зарисовать осциллограммы входного напряжения и напряжения на нагрузке. Пояснить наличие в выходном напряжении переходных искажений.
5. Определить с помощью осциллографа на частоте  $f = 1\text{кГц}$  значение  $U_{вхmax}$ , при котором в выходном сигнале появляются заметные нелинейные искажения. Зарисовать осциллограммы напряжений.
6. Снять и построить амплитудную характеристику при изменении  $U_{вх}$  от нуля до  $U_{вхmax}$ , при котором появляются в выходном сигнале визуально заметные на экране осциллографа нелинейные искажения.  
$$U_{вых} = f(U_{вх})$$
7. Снять и построить амплитудно-частотную характеристику усилителя при  $U_{вх} = 1\text{В}$ .
8. Собрать схему двухтактного усилителя, представленную на рис. 7.3.
9. Для исследования данной схемы усилителя выполнить указания пунктов 3 – 7.

### 2.7 Лабораторная работа №12,13 ( 4 часа).

**Тема:** «Исследование операционного усилителя»

**2.7.1 Цель работы:** Изучение принципа работы, основных параметров и характеристик операционного усилителя (ОУ), исследование схем включения ОУ.

#### 2.7.2 Задачи работы:

1. Изучить принцип работы, параметры, характеристики, схемы включения и возможности применения ОУ.
2. Определить входное, выходное сопротивления и коэффициент усиления инвертирующего и неинвертирующего усилителей для заданных преподавателем значений параметров исследуемых схем.
3. Нарисовать схемы исследуемых усилителей.
4. Ознакомиться с порядком сборки схем на стенде.

#### 2.7.3 Описание (ход) работы:

1. Собрать схемы двух источников питания и генератора синусоидальных колебаний (см. паспорт к стенду). Выставить заданное преподавателем напряжение питания схем усилителей.
2. Собрать схему инвертирующего усилителя, представленную на рис. 8.5.
3. Подать на вход усилителя постоянное напряжение не более 1В от источника ИПН1 (выходное напряжение ИПН1 регулируется резистором R2). Замерить с помощью цифрового вольтметра выходное напряжение и рассчитать коэффициент усиления схемы.
4. Снять и построить амплитудную характеристику усилителя, изменяя напряжение от источника ИПН1 от 0 до  $U_{вхmax}$  при котором усилитель входит в насыщение.

Определить значение  $U_{вых\ нас.}$  исследуемого ОУ. Входное и выходное напряжения измеряются цифровым вольтметром.

5. Подать на вход усилителя синусоидальный сигнал частотой  $f = 1\text{ кГц}$  и амплитудой не более 1В от генератора ГС1. Зарисовать осциллограммы входного и выходного напряжений.

6. Подать на вход усилителя сигнал с амплитудой более  $U_{вх\ max}$  и зарисовать осциллограмму выходного напряжения. Пояснить полученный результат.

7. Снять и построить амплитудно-частотную характеристику усилителя при  $U_{вх} = 1\text{ В}$ , изменяя частоту входного сигнала от 200 Гц до 2 МГц.

8. Собрать схему неинвертирующего усилителя, представленную на рис. 8.6.

9. Для исследования данной схемы усилителя выполнить указания пунктов 3. – 7.

10. Сравнить результаты практического исследования схем на ОУ с теоретическими и сделать выводы.

## **2.8 Лабораторная работа №14,15 ( 4 часа).**

**Тема:** «Исследование линейных вычислительных схем на основе операционных усилителей»

**2.8.1 Цель работы:** Изучение принципа действия, разработка и исследование схем суммирования, вычитания, интегрирования и дифференцирования на ОУ.

### **2.8.2 Задачи работы:**

1. Изучить принцип работы, параметры, характеристики вычислительных схем на основе ОУ.

2. Изучить порядок расчета элементов схем и их качественных характеристик.

3. Определить диапазон частот, в котором схема на ОУ является интегратором для заданных преподавателем значений параметров исследуемой схемы.

4. Определить диапазон частот, в котором схема на ОУ является дифференциатором для заданных преподавателем значений параметров исследуемой схемы.

5. Нарисовать исследуемые вычислительные схемы.

6. Ознакомиться с порядком сборки схем на стенде.

### **2.8.3 Описание (ход) работы:**

1. Соберите схему суммирующего усилителя рис. 9.5.

По номиналам элементов схемы определите ее назначение. Определите величину выходного сигнала, при котором ОУ не будет входить в насыщение. Задайтесь комбинацией входных сигналов и рассчитайте выходное напряжение. Проверьте расчеты экспериментально и оцените погрешности. Зарисуйте осциллограммы входных и выходных сигналов.

2. Соберите схему вычитающего усилителя рис. 9.6. Задайтесь комбинацией входных сигналов и рассчитайте по значениям элементов схемы выходное напряжение. Проверьте расчеты экспериментально и оцените результаты расчета. Зарисуйте осциллограммы входных и выходных сигналов.

3. Соберите схему интегратора рис. 9.7. Снимите амплитудно-частотную характеристику схемы. По номиналам схемы определите постоянную времени интегрирования.

$$T_u = R \cdot C$$

Оцените влияние напряжения смещения  $U_{см}$  и входного тока  $I_{вх}$  на точность интегрирования. Введите параллельно емкости  $C1$  сопротивление  $R11$  и оцените влияние  $U_{см}$  и входного тока на точность интегрирования.

4. Подайте на вход схемы прямоугольные импульсы частотой 200 Гц с амплитудой не более 2 В и снимите осциллограмму выходного сигнала для трех положений резистора  $R11$ . Рассчитайте амплитуду выходного сигнала и сравните результаты с экспериментом.

5. Соберите схему дифференцирования рис. 9.8. и подайте на вход треугольные импульсы частотой 200 Гц и амплитудой не более 2 В. Оцените качество дифференцирования при различных значениях емкости.

6. Соберите схему дифференцирования, добавив к собранной схеме резистор  $R15$ . Подайте на вход треугольные импульсы и оцените качество дифференцирования для трех значений  $R15$ . Зарисуйте осциллограммы входных и выходных сигналов.

### **3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

#### **ПО ПРОВЕДЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ**

##### **3.1 Практическое занятие №1,2 ( 4 часа).**

**Тема: «Изучение статических характеристик измерительных преобразователей»**

##### **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 (**Tr**). 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 (**Tr**). Величина его выходного напряжения измеряется вольтметром  $V$ , 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 « $U_{тр}$ ».

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  $U_3$ , пропорциональное заданному значению частоты вращения вала двигателя. Это напряжение через

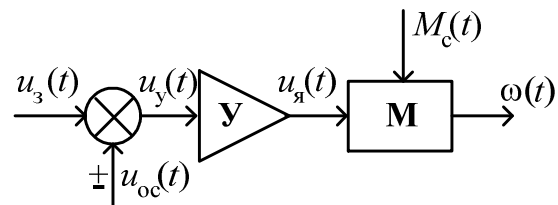


Рис. 1.2. Структурная схема блока «усилитель-двигатель»

$$u_я(t) = K_y u_y(t) = K_y (u_3(t) \pm u_{oc}(t)), \quad (1.1)$$

где  $K_y$  – общий коэффициент усиления по напряжению усилителей **DA1** 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:

$$T_m \frac{d\omega(t)}{dt} + \omega(t) = K_{ou} u_я(t), \quad (1.2)$$

где  $K_{ou}$  – 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:

$$T_m \frac{d\omega(t)}{dt} + \omega(t) = K (u_3(t) \pm u_{oc}(t)), \quad (1.3)$$

где  $K = K_y K_{ou}$  – 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  $u_3(t)$  изменяется скачком, то такое изменение обычно описывается с помощью единичной ступенчатой функции  $1(t)$ , т.е.

$$u_3(t) = U_3 1(t), \quad (1.4)$$

где  $U_3$  – максимальная величина скачка задающего напряжения.

Так как обратной связи нет, то второй вход сумматора (рис. 1.2) пока обесточен, т.е.  $u_{oc}(t) = 0$ . 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  $K$ .

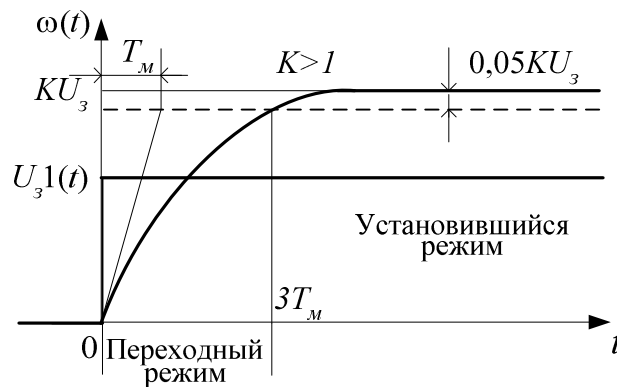


Рис. 1.3. Графики функций (1.4), (1.5) инерционного звена

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

$$T_{\text{м}} \frac{d\omega(t)}{dt} + (1 \mp K\beta)\omega(t) = Ku_3(t).$$

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.

$$\frac{T_{\text{м}}}{(1 \mp K\beta)} \frac{d\omega(t)}{dt} + \omega(t) = \frac{K}{(1 \mp K\beta)} u_3(t). \quad (1.7)$$

Коэффициенты уравнения (1.7) при  $d\omega(t)/dt$  и  $u_3(t)$  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  $u_3(t) = U_3 1(t)$  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.

Для анализа процесса дифференцирования напряжения  $u_1(t)$  этой схемой запишем для неё систему уравнений. В этой схеме на операционном усилителе **DA3** собран суммирующий усилитель, а на **DA4** – интегратор. Для устойчивой работы в схему дифференциатора введен инвертор “-1”.

Уравнения этих элементов можно записать следующим образом:

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

Подставляя второе уравнение в первое, получим

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

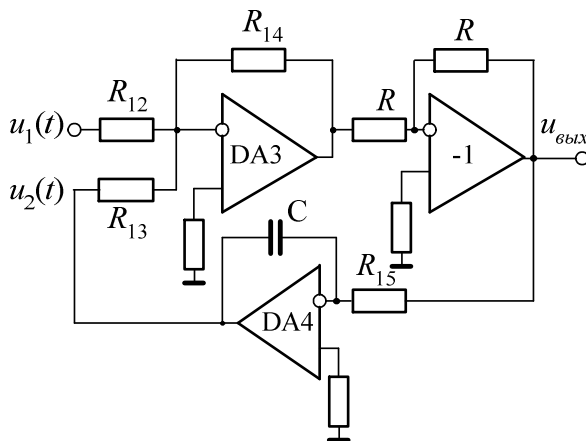


Рис. 1.4. Схема дифференциатора

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

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

или

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

где

$$T_{\text{диф}} = CR_{15},$$

$$\alpha_1 = R_{13}/R_{12}, \quad \alpha_2 = R_{13}/R_{14}.$$

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

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  $K\beta \geq T_m$  звено с положительной ГОС, как и звено с положительной ЖОС, может стать неустойчивым [2].

В случае моделирования непрерывных звеньев с

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

$$T_{\text{згос}} = T_m - K\beta, \quad (1.15)$$

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

При **отрицательной ГОС**

$$T_{\text{згос}} = T_m + K\beta, \quad (1.16)$$

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.

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 №3,4 ( 4 часа).

**Тема: «Изучение динамических характеристик измерительных преобразователей»**

#### 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  $K_{\partial u}$  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  $U_z$  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  $1(t)$ .

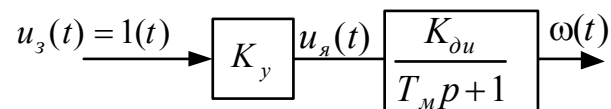


Рис. 1.5. Структурная схема звена «усилитель-двигатель» без ОС

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

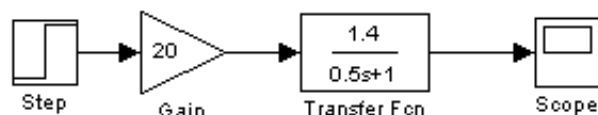


Рис. 1.6. Схема модели звена без обратной связи в Simulink

На вход модели звена, согласно рис. 1.5, подаётся единичное ступенчатое воздействие  $u_z(t) = 1(t)$  – «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

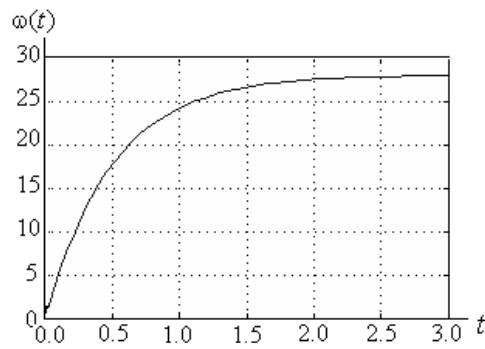


Рис. 1.7. Переходная функция звена без ОС

### Исследование звена с жёсткой обратной связью

Примем коэффициент передачи тахогенератора  $K_{\text{тг}}$  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  $20 - 23 \text{ рад/с}$ . При положительной ЖОС этот коэффициент должен быть таким, чтобы установившееся значение  $\omega(t)$  не превышало  $40 \text{ рад/с}$ . Пусть  $K_{y2} = 0,13$ .

Произведение

$K_{\text{тг}} K_{y2}$

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.

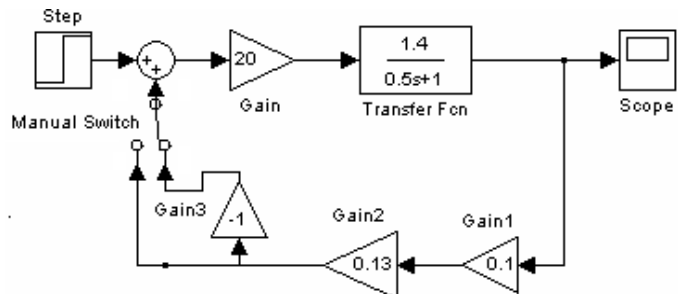


Рис. 1.8. Схема модели звена с жесткой ОС

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.

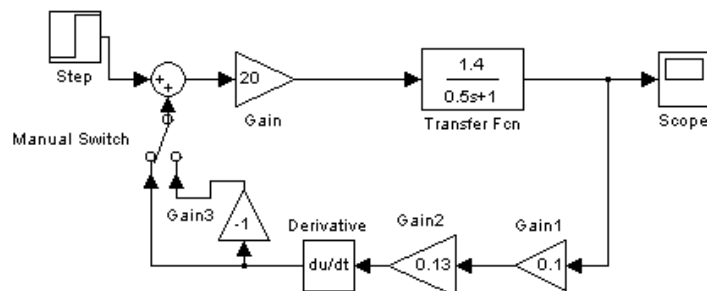


Рис. 1.9. Схема модели звена с гибкой обратной связью

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

### **3.3 Практическое занятие №5,6 ( 4 часа).**

**Тема: Изучение статических и динамических характеристик измерительных преобразователей»**

#### **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 (**G**), использующийся для создания нагрузочного момента на двигатель, и тахогенератор (**ТГ**). Валы всех трех электрических машин соединены между собой. С помощью выключателя "**Нагрузка**" к обмотке генератора можно подключить переменный резистор **R<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.

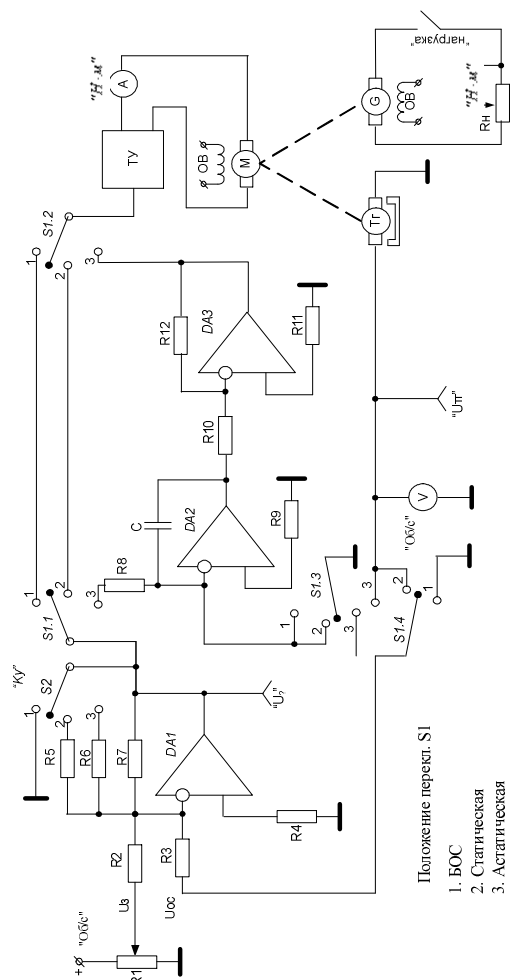


Рис. 2.1. Функциональная схема исследуемой системы

В этом же сменном модуле размещён интегратор, собранный на операционном усилителе **DA2** с конденсатором **С** 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 **М**. 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 "U<sub>тг</sub>", 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 №7,8 ( 4 часа).

**Тема: «Изучение конструкции и принципов работы датчиков»**

### 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  $K_p = K_y K_{\partial u}$  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).

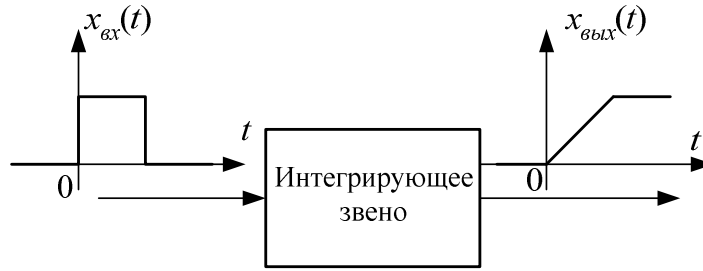


Рис. 2.2. Сигналы интегрирующего звена

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

Системой с астатизмом первого порядка ( $\nu = 1$ ) по воздействию  $g(t)$  называется такая система, которая отрабатывает это воздействие с нулевой ошибкой, когда оно постоянное, и с постоянной ошибкой, когда оно изменяется линейно во времени, т.е. когда  $g(t) = g_0 + g_1 t$  при  $g_0, g_1 = \text{const}$ . В этом последнем случае ошибка называется скоростной,

обозначается  $\delta_{ckg}$  и пропорциональна скорости изменения этого воздействия  $g_1 = \frac{dg(t)}{dt}$ ,

т.е.  $\delta_{ckg} = C_{lg} g_1 \neq 0$ .

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 полинома числителя **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 **тождественно 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** в передаточной функции (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.

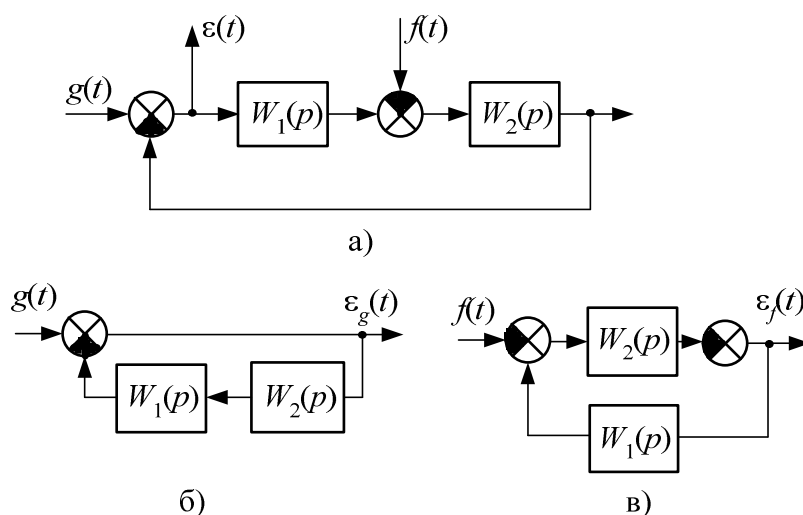


Рис. 2.3. Преобразование структурной схемы системы

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  $T_\vartheta$  – 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  $\tau_M$ .

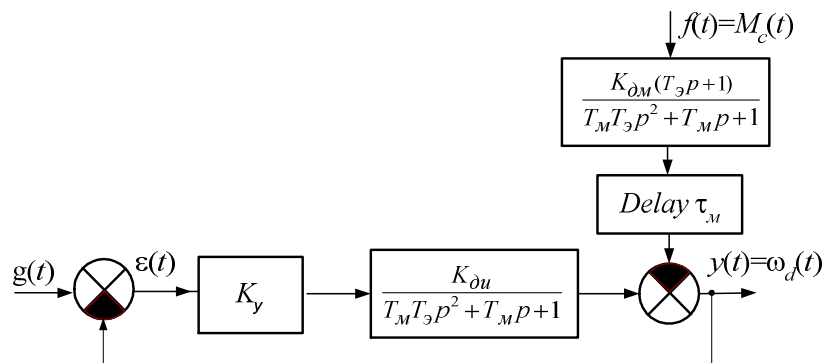


Рис. 2.4. Структурная схема статической системы

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

$$W_p(p) = \frac{K_y K_{du}}{T_M T_\vartheta p^2 + T_M p + 1}. \quad (2.6)$$

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

$$W_{\varepsilon g}(p) = \frac{1}{1 + W_p(p)} = \frac{T_M T_\vartheta p^2 + T_M p + 1}{T_M T_\vartheta p^2 + T_M p + K_y K_{du} + 1}. \quad (2.7)$$

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

$$\delta_{cm,g} = \lim_{p \rightarrow 0} p \frac{T_M T_{\Sigma} p^2 + T_M p + 1}{T_M T_{\Sigma} p^2 + T_M p + K_y K_{\partial u} + 1} \cdot \frac{g_0}{p} = \frac{1}{1 + K_y K_{\partial u}} g_0. \quad (2.9)$$

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.

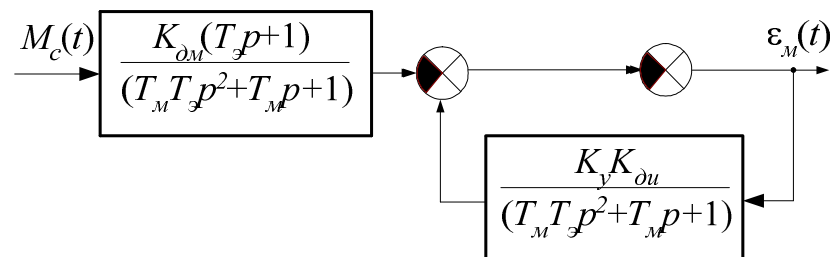


Рис. 2.5. Преобразованная структурная схема статической системы

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

$$W_{\varepsilon m}(p) = \frac{K_{\partial m}(T_{\Sigma} p + 1)}{T_M T_{\Sigma} p^2 + T_M p + K_{\partial u} K_y + 1}.$$

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

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

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

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

Из выражения (2.11) видно, что в статических системах автоматического управления ошибка  $\delta_{cm}$  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.

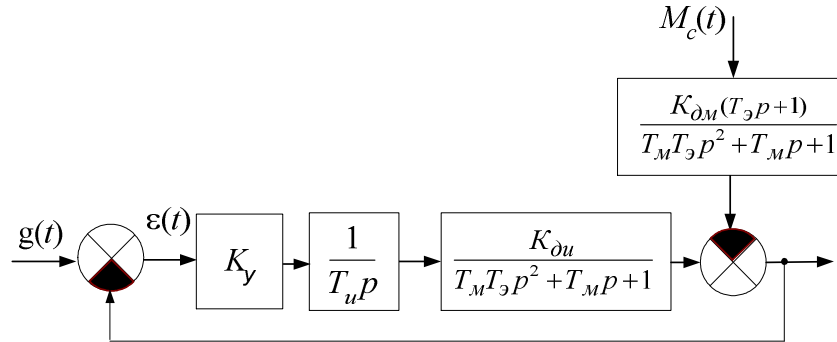


Рис. 2.6. Структурная схема астатической системы

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]:

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

$$W_{eg}(p) = \frac{1}{1 + W_p(p)} = \frac{p(T_m T_э p^2 + T_m p + 1)}{T_m T_э p^3 + T_m p^2 + p + K_y K_{ou}}. \quad (2.12)$$

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

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

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.

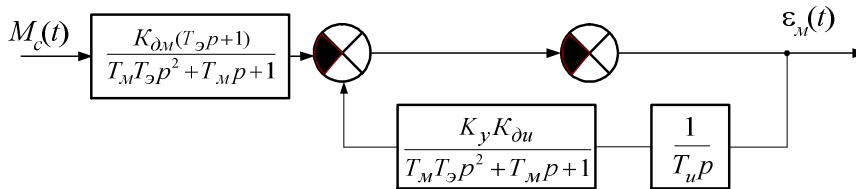


Рис. 2.7. Преобразованная

структурная схема  
астатической системы

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

$$W_{\varepsilon M}(p) = \frac{K_M(T_э p + 1)p}{T_m T_э p^3 + T_m p^2 + p + K_y K_{ou}}.$$

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

$$\delta_{ст.м} = \lim_{p \rightarrow 0} p M_c(p) W_{\varepsilon.м}(p) =$$

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

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.

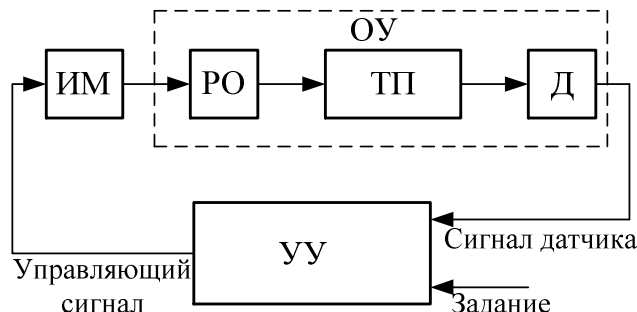


Рис. 3.1. Структура локальной системы управления

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

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

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

Наличие транспортного **запаздывания**  $\tau_{\text{oy}}$  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  $K_{oy}$ , постоянная времени  $T_{oy}$  и величина транспортного запаздывания  $\tau_{oy}$ , 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 автоматизации 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 – Ф (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  $\vartheta(t)$ .

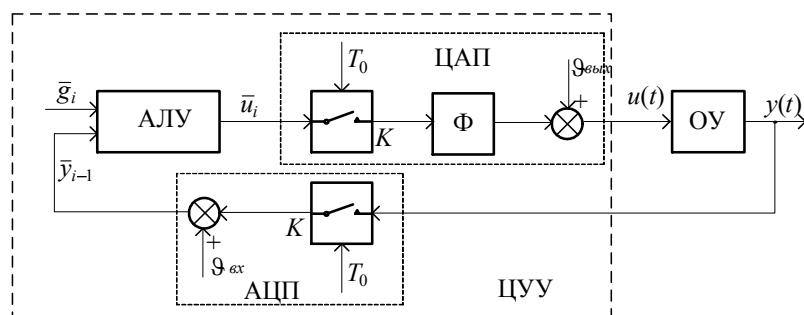


Рис. 3.2. Структура замкнутого контура ЦАС с учетом процедур квантования

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**):

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

или

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

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

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

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.

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

где  $K_{рег}$ ,  $T_u$ ,  $T_{диф}$  – 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	$K_{рег} = 0,3T_{0y} / K_0 \tau_{0y}$
ПИ-регулятор	$K_{рег} = 0,6T_{0y} / K_0 \tau_{0y}$ ; $T_u = 0,6T_{0y}$
ПИД-регулятор	$K_{рег} = 0,95T_{0y} / K_0 \tau_{0y}$ , $T_u = 2,4\tau_{0y}$ , $T_{диф} = 0,4\tau_{0y}$

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.

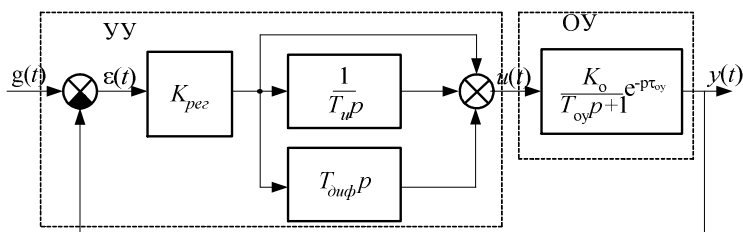


Рис. 3.3. Структурная схема непрерывной системы управления

**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					ПИ

					Д
5	<b>Теплица:</b> Расход воды на распыление – влажность воздуха	60	800	20	ПИ
6					Д
7	<b>Турбина:</b> Положение регулирующего клапана – частота вращения	4,5	110	17	ПИ
8					Д
9	<b>Смеситель 1:</b> Расход потока $F_1$ – концентрация выходного потока $C_0$	1,25	50	5	ПИ
10					Д
11	<b>Смеситель 2:</b> Расход холодной воды – температура смеси	4	100	12	ПИ
12					Д
13	<b>Генератор переменного тока:</b> Напряжение на выходе – ток возбуждения	10	0,15	0,03	ПИ
14					Д
15	<b>Сушка:</b> Температура на выходе топки – расход топлива	20	10	3	ПИ
16					Д
17	<b>Сушка:</b> Влажность сухого жема – расход топлива	40	750	50	ПИ
18					Д
19	<b>Парогенератор:</b> Расход топлива – давление перегретого пара	2,5	400	120	ПИ
20					Д

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										
$v_{g2}$	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.

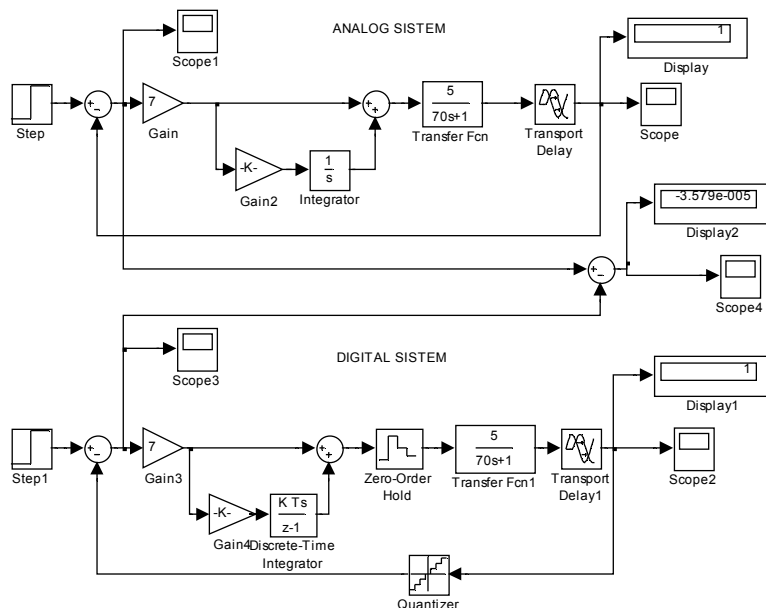


Рис. 3.4. Схемы моделей аналоговых и цифровых систем

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 (Integratormethod) – 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** отработки 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 (Integratormethod). 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 отработке 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 №16,17 ( 4 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 №18 ( 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 изотропного 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 изотропного 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