

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

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ
ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Б1.Б.14 Автоматика

Направление подготовки 35.03.06. Агроинженерия

Профиль образовательной программы «Электрооборудование и электротехнологии»

Форма обучения заочная

СОДЕРЖАНИЕ

1. Конспект лекций.....	3
1.1 Лекция № 1 Предмет и значение дисциплины. Основные понятия, определения. Классификация автоматических систем управления.	3
1.2 Лекция № 2 Классификация технических средств автоматики. Классификация датчиков.	6
1.3 Лекция № 3 Логические и цифровые элементы и микроконтроллеры автоматики. Регуляторы. П-, И-, -законы регулирования.....	15
1.4 Лекция № 4 Регуляторы. ПИ- и ПИД-законы регулирования. Преобразование структурных схем САУ.....	24
2. Методические указания по выполнению лабораторных работ.....	28
2.1 Лабораторная работа № ЛР-1 Автоматическая система управления наружным освещением.....	28
2.2 Лабораторная работа № ЛР-2 Автоматическая система управления внутренним освещением.....	29
2.3 Лабораторная работа № ЛР-3 Автоматическая система управления звуковым оповещением	30
2.4 Лабораторная работа № ЛР-4 Автоматическая система управления светофором...	31
2.5 Лабораторная работа № ЛР-5 Система автоматического включения резервного питания.....	32
2.6 Лабораторная работа № ЛР-6 Автоматическая система управления исполнительным электродвигателем.....	33

1. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

1. 1 Лекция №1(2 часа).

Тема: «Предмет и значение дисциплины. Основные понятия, определения. Классификация автоматических систем управления.»

1.1.1 Вопросы лекции:

1. Предмет и значение дисциплины
2. Основные понятия, определения и терминология автоматики
3. Классификация автоматических систем управления

1.1.2 Краткое содержание вопросов:

1. Предмет и значение дисциплины

Автоматика — это отрасль науки и техники, охватывающая теорию и принципы построения систем управления техническими объектами и процессами, действующих без непосредственного участия человека.

Технический объект (станок, двигатель, летательный аппарат, поточная линия, автоматизированный участок, цех и т.д.), нуждающийся в автоматическом или автоматизированном управлении, называется объектом управления (ОУ) или техническим объектом управления (ТОУ).

Совокупность ОУ и автоматического управляющего устройства называется системой автоматического управления (САУ) или автоматизированной системой управления (АСУ).

Ниже приведены наиболее широко используемые термины и их определения: элемент - простейшая составная часть устройств, приборов и других средств, в которой осуществляется одно преобразование какой-либо величины; (мы в дальнейшем дадим более точное определение) узел - часть прибора, состоящая из нескольких более простых элементов (деталей);

преобразователь - устройство, преобразующее один вид сигнала в другой по форме или виду энергии; устройство - совокупность некоторого числа элементов, соединенных между собой соответствующим образом, служащая для переработки информации; прибор - общее название широкого класса устройств, предназначенных для измерений, производственного контроля, вычислений, учета, сбыта и др.;

блок - часть прибора, представляющая собой совокупность функционально объединенных элементов. Любая система управления должна выполнять следующие функции:

- сбор информации о текущем состоянии технологического объекта управления (ОУ);
- определение критериев качества работы ОУ;
- нахождение оптимального режима функционирования ОУ и оптимальных управляющих воздействий, обеспечивающих экстремум критериев качества;
- реализация найденного оптимального режима на ОУ. Эти функции могут выполняться обслуживающим персоналом или ТСА.

Различают четыре типа систем управления (СУ):

- информационные;
- автоматического управления;
- централизованного контроля и регулирования;
- автоматизированные системы управления технологическими процессами. В САУ все функции выполняются автоматически при помощи соответствующих технических средств.

Функции оператора включают в себя: - техническую диагностику состояния САУ и восстановление отказавших элементов системы;
-коррекцию законов регулирования;
-изменение задания;
-переход на ручное управление;
-техническое обслуживание оборудования.

ОПУ - операторский пункт управления;

Д - датчик;

НП - нормирующий преобразователь;

КП - кодирующие и декодирующие преобразователи;

ЦР - центральные регуляторы;

МР - многоканальное средство регистрации (печать);

С - устройство сигнализации предаварийного режима;

МПП - многоканальные показывающие приборы (дисплеи);

МС - мнемосхема;

ИМ - исполнительный механизм;

РО - регулирующий орган;

К – контроллер.

Автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП) - это машинная система, в которой ТСА осуществляют получение информации о состоянии объектов, вычисляют критерии качества, находят оптимальные настройки управления

2. Основные понятия, определения и терминология автоматики

Любой технологический процесс характеризуется физическими величинами, называемыми показателями процесса. Для одних процессов показатели могут быть постоянными, для других же допускается их изменение в заданных пределах по определенному закону.

Совокупность предписаний, ведущих к правильному выполнению технологического процесса в каком-либо устройстве или ряде устройств, выполняющий один и тот же технологический процесс называется *алгоритмом(законом) функционирования устройства или системы*.

Устройства или совокупность устройств, осуществляющих тот или иной технологический процесс, которые нуждаются в оказании специально организованных командах извне для выполнения алгоритма функционирования называются *объектом управления (ОУ)*.

Каждый ОУ должен иметь устройство, называемое *управляющим органом*, при изменении положения или состояния которого, показатели процесса будут изменяться в заданных пределах или заданных направлениях. Через управляющий орган в ОУ поступают воздействия, которые позволяют осуществлять заданный алгоритм функционирования.

Совокупность предписаний, определяющая характер воздействий извне на управляемый объект с целью управления или заданного (предписанного) алгоритма функционирования называется *алгоритмом управления*. Физические показатели процесса или объекта, которые преднамеренно изменяются, или сохраняются неизменными в процессе управления называются *управляемыми (регулируемыми) величинами или координатами*. Обычно управляемые величины в объектах управления характеризуют качественные показатели процесса. Поэтому *управлять объектом* – это значит создавать условия, при которых качественные показатели изменялись бы по требуемому закону с определенной точностью, независимо от действующих на объект внешних условий.

Управление – это преднамеренное воздействие на объект управления, обеспечивающее достижение определенных самим технологическим процессом целей.

Если управление осуществляется без непосредственного участия человека, то оно называется *автоматическим*, а если с участием, то *ручным*.

Автоматическим управляющим устройством (АУУ) называют техническое устройство, осуществляющее воздействие на объект управления, в соответствии с заложенным в нем алгоритмом управления. АУУ воздействует на ОУ через орган управления. Совокупность ОУ и АУУ взаимодействующих между собой, в соответствии с алгоритмом управления называют *системой автоматического управления (САУ)*.

Из всех операций управления ТП объединенных определением САУ наибольший интерес для практических целей представляют операции по поддержанию или изменению показателей процесса.

Такого рода операций получили название *процесса регулирования*. Техническое устройство, предназначенное для автоматического поддержания постоянного значения показателей процесса регулирования или изменения этих показателей по какому-либо требуемому закону называют *автоматическим регулятором (АР)*. Совокупность ОР с АР называют *системой автоматического регулирования (САР)*.

3. Классификация автоматических систем управления

Большое разнообразие, используемых в технике систем АУ требует применение различных признаков классификации таких систем. Рассмотрим классификации:

3. По характеру алгоритма функционирования:

3.1 Система стабилизации.

Они поддерживают требуемое значение управляемой величины с заданной точностью. В этих системах задающих воздействие $x(t)=const$. Стабилизация выходной величины ОУ осуществляет автоматический регулятор.

3.2 Системы программного управления.

Они предназначены для изменения управляемой величины по определенному предписанию программе, которое составляется заранее на основании требований технического процесса. Сама программа задается при помощи датчика и представляет собой последовательность команд в соответствии с алгоритмом функционирования ОУ.

3.3 Следящие автоматические системы.

Они предназначены для изменения управляемой величины по закону, заранее неизвестной функции времени. В таких системах применяется своя терминология:

- входная величина – ведущая
- выходная – ведомая
- окончание процесса – отработка и т.д.

4. По способности САУ к самоприспосабливаемости.

САУ в составе которых имеются дополнительное автоматическое управление, изменяющее алгоритм функционирования основного АРУ, таким образом, чтобы система в целом осуществляла ЗАФ, называется самоприспосабливающимся. Такие системы обладают свойством адаптации, т.е. свойством автоматического приспособления к непредвиденным изменениям параметров объекта регулируемых устройств и внешней среды.

4.1 Системы экстремального управления.

Они обеспечивают отыскание и поддержания таких регулирующих воздействий на ОУ, при которых управляемая величина достигает наибольшего или наименьшего значения. Они действуют по принципу "поиска", т.е. обязательно с подачей поисковых сигналов. По получению отклика на сигнал поиска определяется знак и значение dy/du или dy/dt и затем определяется экстремум.

4.2 Системы с перестраивающимися устройствами.

Эти системы, у которых параметры или их структура автоматики изменяется в зависимости от управляющих и возмущающих воздействий или переменных параметров объекта.

4.3 Аналитические самонастраивающиеся системы.

Это системы, у которых их перестройка осуществляется на основе аналитического определения их динамических характеристик. В состав этих систем обязательно входит вычислительные машины.

5 По характеру управления во времени.

5.1. Непрерывные САУ.

5.2. Дискретные САУ (импульсные системы, релейные и позиционные системы)

6. По математическому описанию.

6.1 Линейные САУ.

6.2 Нелинейные САУ.

7 По числу управляемых величин.

7.1 Одномерные системы.

7.2 Многомерные системы.

8 По принципу действия.

8.1 Системы прямого действия. Это системы в которых чувствительный элемент (датчик) действует непосредственно на управляемый орган.

8.2 Системы непрямого действия. Это системы у которых после чувствительного элемента установлены усилители и сервоприводы.

9 По виду зависимости между управляемой величиной и нагрузкой на ОУ.

9.1 Системы статического регулирования.

Статическая система – это система, в которой при возмущающем или задающем воздействии, стремящемся к постоянной величине, отклонение управляемой величины также стремится к постоянной величине зависящей от этого воздействия. Для реализации такой системы используют статический регулятор. Такие системы функционируют с некоторым отклонением – статической ошибкой или статизмом системы.

9.2 Система астатического регулирования.

Астатическая система – это система, в которой при возмущении или задании отклонения управляемой величины в установившемся режиме, при постоянном значении, возмущения или задания равно нулю. Функционирует такая система при помощи астатических регуляторов, значения коэффициента астатизма равны нулю

1. 2 Лекция №2(2 часа).

Тема: «Классификация технических средств автоматики. Классификация датчиков.»

1.2.1 Вопросы лекции:

- 1.Классификация технических средств автоматики
- 2.Классификация датчиков

1.2.2 Краткое содержание вопросов:

1. Классификация технических средств автоматики

Классификация технических средств автоматизации не является чем-то, уж слишком, сложным и нагруженным. Однако, в целом технологические средства

автоматизации имеют достаточно разветвленную структуру классификации. Попробуем разобраться с ней.

Современные средства автоматизации делятся на две группы: коммутированные и не коммутированные (программируемые) технические средства автоматизации:

1) Коммутированные средства автоматизации

- Регуляторы
- Релейные схемы

2) Программируемые средства автоматизации

- ADSP процессоры
- ПЛК
- ПМК
- ПАК

• Специализированные контроллеры

• ADSP процессоры – средство автоматизации, которое используется для сложного математического анализа процессов в системе. Эти процессоры имеют быстродействующие модули ввода/вывода, которые с высокой частотой могут передавать данные на центральный процессор, который с помощью сложного математического аппарата анализирует работу системы. Пример – системы вибродиагностики, которые используют для анализа ряды Фурье, спектральный анализ и счетчик импульсов. Как правило, такие процессоры исполняются в виде отдельной PCI платы, которая монтируется в соответствующий слот компьютера и использует ЦП для математической обработки.

• ПЛК – самые распространенные средства автоматизации. Имеют собственный блок питания, центральный процессор, оперативную память, сетевую карту, модули ввода/вывода. Преимущество – высокая надежность работы системы, адаптация к промышленным условиям. Кроме того используются программы, которые выполняются циклически и имеют так называемый WatchDog, который используется для предотвращения зависания программы. Также программа выполняется последовательно и не имеет параллельных связей и этапов обработки, которые могли бы привести к негативным последствиям.

• ПМК – компьютер с платами ввода/вывода, сетевыми картами, которые служат для ввода/вывода информации.

• ПАК (программируемые автоматизированные контроллеры) – ПЛК+ПМК. Имеют распределенную сетевую структуру для обработки данных (несколько ПЛК и ПМК).

• Специализированные контроллеры – не являются свободно программируемыми средствами автоматизации, а используют стандартные программы, в которых можно изменить только некоторые коэффициенты (параметры ПИД-регулятора, время хода исполнительного механизма, задержки и т.д.). Такие контроллеры ориентированы на заранее известную систему регулирования (вентиляция, отопление, ГВС). В начале нового тысячелетия эти технические средства автоматизации получили большое распространение.

Особенностью ADSP и ПМК является использование стандартных языков программирования: C, C++, Assembler, Pascal, — так как они созданы на базе ПК. Эта особенность средств автоматизации является одновременно и достоинством и недостатком. Преимущество в том, что с помощью стандартных языков программирования можно написать более сложный и гибкий алгоритм. Недостаток – для

работы с ними необходимо создавать драйверы и использовать язык программирования, который является более сложным.

Преимуществом ПЛК и ПАК является использование инженерных языков программирования, которые стандартизованы [IEC 61131-3](#). Эти языки рассчитаны не на программиста, а на инженера-электрика.

2. Классификация датчиков

Автоматизация различных технологических процессов, эффективное управление различными агрегатами, машинами, механизмами требуют многочисленных измерений разнообразных физических величин.

Датчики (в литературе часто называемые также измерительными преобразователями), или по-другому, **сенсоры** являются элементами многих систем автоматики - с их помощью получают информацию о параметрах контролируемой системы или устройства.

Датчик – это элемент измерительного, сигнального, регулирующего или управляющего устройства, 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. Или проще, **датчик** – это устройство, преобразующее входное воздействие любой физической величины в сигнал, удобный для дальнейшего использования.

Используемые датчики весьма разнообразны и могут быть **классифицированы по различным признакам:**

В зависимости от вида входной (измеряемой) величины различают: датчики механических перемещений (линейных и угловых), пневматические, электрические, расходомеры, датчики скорости, ускорения, усилия, температуры, 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%.

По виду выходной величины, в которую преобразуется входная величина, различают *неэлектрические* и *электрические*: датчики постоянного тока (ЭДС или напряжения), датчики амплитуды переменного тока (ЭДС или напряжения), датчики частоты переменного тока (ЭДС или напряжения), датчики сопротивления (активного, индуктивного или емкостного) и др.

Большинство датчиков являются электрическими. Это обусловлено следующими достоинствами 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.

По принципу действия датчики можно разделить на два класса: *генераторные* и *параметрические* (датчики-модуляторы). Генераторные датчики осуществляют непосредственное преобразование входной величины в электрический сигнал.

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

По принципу действия датчики также можно разделить на омические, реостатные, фотоэлектрические (оптико-электронные), индуктивные, емкостные и д.р.

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.

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. Выявить изменение соответствующего параметра датчика только и можно по реакции датчика на ток или напряжение, поскольку перечисленные параметры и характеризуют эту реакцию. Поэтому параметрические датчики требуют применения специальных измерительных цепей с питанием постоянным или переменным током.

Омические (резистивные) датчики – принцип действия основан на изменении их активного сопротивления при изменении длины l , площади сечения S или удельного сопротивления ρ :

$$R = \rho l / S$$

Кроме того, используется зависимость величины активного сопротивления от контактного давления и освещённости фотоэлементов. В соответствии с этим омические датчики делят на: *контактные, потенциометрические (реостатные), тензорезисторные, терморезисторные, фоторезисторные.*

Контактные датчики — это простейший вид резисторных датчиков, которые преобразуют перемещение первичного элемента в скачкообразное изменение сопротивления электрической цепи. С помощью контактных датчиков измеряют и контролируют усилия, перемещения, температуру, размеры объектов, контролируют их форму и т. д. К контактными датчикам относятся *путевые и концевые выключатели, контактные термометры* и так называемые *электродные датчики*, используемые в основном для измерения предельных уровней электропроводных жидкостей.

Контактные датчики могут работать как на постоянном, так и на переменном токе. В зависимости от пределов измерения контактные датчики могут быть одно предельными и многопредельными. Последние используют для измерения величин, изменяющихся в значительных пределах, при этом части резистора R , включенного в электрическую цепь, последовательно закорачиваются.

Недостаток контактных датчиков — сложность осуществления непрерывного контроля и ограниченный срок службы контактной системы. Но благодаря предельной простоте этих датчиков их широко применяют в системах автоматики.

Реостатные датчики представляют собой резистор с изменяющимся активным сопротивлением. Входной величиной датчика является перемещение контакта, а выходной — изменение его сопротивления. Подвижный контакт механически связан с объектом, перемещение (угловое или линейное) которого необходимо преобразовать.

Наибольшее распространение получила потенциометрическая схема включения реостатного датчика, в которой реостат включают по схеме делителя напряжения. Напомним, что делителем напряжения называют электротехническое устройство для деления постоянного или переменного напряжения на части; делитель напряжения позволяет снимать (использовать) только часть имеющегося напряжения посредством элементов электрической цепи, состоящей из резисторов, конденсаторов или катушек индуктивности. Переменный резистор, включаемый по схеме делителя напряжения, называют потенциометром.

Обычно реостатные датчики применяют в механических измерительных приборах для преобразования их показаний в электрические величины (ток или напряжение), например, в поплавковых измерителях уровня жидкостей, различных манометрах и т. п.

Датчик в виде простого реостата почти не используется вследствие значительной нелинейности его статической характеристики $I_n = f(x)$, где I_n - ток в нагрузке.

Выходной величиной такого датчика является падение напряжения $U_{\text{вых}}$ между подвижным и одним из неподвижных контактов. Зависимость выходного напряжения от перемещения x контакта $U_{\text{вых}} = f(x)$ соответствует закону изменения сопротивления вдоль потенциометра. Закон распределения сопротивления по длине потенциометра, определяемый его конструкцией, может быть линейным или нелинейным.

Потенциометрические датчики, конструктивно представляющие собой переменные резисторы, выполняют из различных материалов — обмоточного провода, металлических пленок, полупроводников и т. д.

Тензорезисторы (*тензометрические датчики*) служат для измерения механических напряжений, небольших деформаций, вибрации. Действие тензорезисторов основано на тензоэффекте, заключающемся в изменении активного сопротивления проводниковых и полупроводниковых материалов под воздействием приложенных к ним усилий.

Термометрические датчики (*терморезисторы*) - сопротивление зависит от температуры. Терморезисторы в качестве датчиков используют двумя способами:

1) Температура терморезистора определяется окружающей средой; ток, проходящий через терморезистор, настолько мал, что не вызывает нагрева терморезистора. При этом условии терморезистор используется как датчик температуры и часто называется «термометром сопротивления».

2) Температура терморезистора определяется степенью нагрева постоянным по величине током и условиями охлаждения. В этом случае установившаяся температура определяется условиями теплоотдачи поверхности терморезистора (скоростью движения окружающей среды — газа или жидкости — относительно терморезистора, ее плотностью, вязкостью и температурой), поэтому терморезистор может быть использован как датчик скорости потока, теплопроводности окружающей среды, плотности газов и т. п. В датчиках такого рода происходит как бы двухступенчатое преобразование: измеряемая величина сначала преобразуется в изменение температуры терморезистора, которое затем преобразуется в изменение сопротивления.

Терморезисторы изготавливают как из чистых металлов, так и из полупроводников. Материал, из которого изготавливаются такие датчики, должен обладать высоким температурным коэффициентом сопротивления, по возможности линейной зависимостью сопротивления от температуры, хорошей воспроизводимостью свойств и инертностью к воздействиям окружающей среды. В наибольшей степени всем указанным свойствам удовлетворяет платина; в чуть меньшей – медь и никель. По сравнению с металлическими терморезисторами более высокой чувствительностью обладают полупроводниковые терморезисторы (термисторы).

Емкостные датчики применяют для измерения угловых перемещений, очень малых линейных перемещений, вибраций, скорости движения и т. д., а также для воспроизведения заданных функций (гармонических, пилообразных, прямоугольных и т. п.).

Емкостные преобразователи, диэлектрическая проницаемость ϵ которых изменяется за счет перемещения, деформации или изменения состава диэлектрика, применяют в качестве датчиков уровня непроводящих жидкостей, сыпучих и порошкообразных материалов, толщины слоя непроводящих материалов (толщиномеры), а также контроля влажности и состава вещества.

Датчики – генераторы

Генераторные датчики осуществляют непосредственное преобразование входной величины X в электрический сигнал. Такие датчики преобразуют энергию источника входной (измеряемой) величины сразу в электрический сигнал, т.е. они являются как бы генераторами электроэнергии (откуда и название таких датчиков - они генерируют электрический сигнал).

Дополнительные источники электроэнергии для работы таких датчиков принципиально не требуются (тем не менее дополнительная электроэнергия может потребоваться для усиления выходного сигнала датчика, его преобразования в другие виды сигналов и других целей). Генераторными являются термоэлектрические, пьезоэлектрические, индукционные, фотоэлектрические и многие другие типы датчиков.

Индукционные датчики преобразуют измеряемую неэлектрическую величину в ЭДС индукции. Принцип действия датчиков основан на законе электромагнитной индукции. К этим датчикам относятся тахогенераторы постоянного и переменного тока, представляющие собой небольшие электромашинные генераторы, у которых выходное напряжение пропорционально угловой скорости вращения вала генератора. Тахогенераторы используются как датчики угловой скорости.

Тахогенератор представляет собой электрическую машину, работающую в генераторном режиме. При этом вырабатываемая ЭДС пропорциональна скорости вращения и величине магнитного потока. Кроме того, с изменением скорости вращения изменяется частота ЭДС. Применяются как датчики скорости (частоты вращения).

Температурные датчики. В современном промышленном производстве наиболее распространенными являются измерения температуры (так, на атомной электростанции среднего размера имеется около 1500 точек, в которых производится такое измерение, а на крупном предприятии химической промышленности подобных точек присутствует свыше 20 тыс.). Широкий диапазон измеряемых температур, разнообразие условий использования средств измерений и требований к ним определяют многообразие применяемых средств измерения температуры

Если рассматривать датчики температуры для промышленного применения, то можно выделить их основные классы: кремниевые датчики температуры, биметаллические датчики, жидкостные и газовые термометры, термоиндикаторы, термисторы, термопары, термопреобразователи сопротивления, инфракрасные датчики.

Кремниевые датчики температуры используют зависимость сопротивления полупроводникового кремния от температуры. Диапазон измеряемых температур - $50...+150^{\circ}\text{C}$. Применяются в основном для измерения температуры внутри электронных приборов.

Биметаллический датчик сделан из двух разнородных металлических пластин, скрепленных между собой. Разные металлы имеют различный температурный коэффициент расширения. Если соединенные в пластину металлы нагреть или охладить, то она изогнется, при этом замкнет (разомкнет) электрические контакты или переведет стрелку индикатора. Диапазон работы биметаллических датчиков - $40...+550^{\circ}\text{C}$. Используются для измерения поверхности твердых тел и температуры жидкостей. Основные области применения – автомобильная промышленность, системы отопления и нагрева воды.

Термоиндикаторы – это особые вещества, изменяющие свой цвет под воздействием температуры. Изменение цвета может быть обратимым и необратимым. Производятся в виде пленок.

Термопреобразователи сопротивления

Принцип действия термопреобразователей сопротивления (терморезисторов) основан на изменении электрического сопротивления проводников и полупроводников в зависимости от температуры (рассмотрен ранее).

Платиновые терморезисторы предназначены для измерения температур в пределах от -260 до 1100°C . Широкое распространение на практике получили более дешевые медные терморезисторы, имеющие линейную зависимость сопротивления от температуры.

Недостатком меди является небольшое ее удельное сопротивление и легкая окисляемость при высоких температурах, вследствие чего конечный предел применения медных термометров сопротивления ограничивается температурой 180°C . По стабильности и воспроизводимости характеристик медные терморезисторы уступают платиновым. Никель используется в недорогих датчиках для измерения в диапазоне комнатных температур.

Полупроводниковые терморезисторы (термисторы) имеют отрицательный или положительный температурный коэффициент сопротивления, значение которого при 20°C составляет $(2...8)*10^{-2} (^{\circ}\text{C})^{-1}$, т.е. на порядок больше, чем у меди и платины. Полупроводниковые терморезисторы при весьма малых размерах имеют высокие значения сопротивления (до 1 МОм). В качестве полупров. материала используются оксиды металлов: полупроводниковые терморезисторы типов КМТ - смесь оксидов кобальта и марганца и ММТ - меди и марганца.

Полупроводниковые датчики температуры обладают высокой стабильностью характеристик во времени и применяются для измерения температур в диапазоне от -100 до 200°C .

Термоэлектрические преобразователи (термопары) - принцип действия термопар основан на термоэлектрическом эффекте, который состоит в том, что при наличии разности температур мест соединений (спаев) двух разнородных металлов или полупроводников в контуре возникает электродвижущая сила, называемая термоэлектродвижущей (сокращенно термо-ЭДС). В определенном интервале температур можно считать, что термо-ЭДС прямо пропорциональна разности температур $\Delta T = T_1 - T_0$ между спаем и концами термопары.

Соединенные между собой концы термопары, погружаемые в среду, температура которой измеряется, называют рабочим концом термопары. Концы, которые находятся в окружающей среде, и которые обычно присоединяют проводами к измерительной схеме, называют свободными концами. Температуру этих концов необходимо

поддерживать постоянной. При этом условии термо-ЭДС E_T будет зависеть только от температуры T_1 рабочего конца.

$$U_{\text{вых}} = E_T = C(T_1 - T_0),$$

где C – коэффициент, зависящий от материала проводников термопары.

Создаваемая термопарами ЭДС сравнительно невелика: она не превышает 8 мВ на каждые 100 °С и обычно не превышает по абсолютной величине 70 мВ. Термопары позволяют измерять температуру в диапазоне от –200 до 2200 °С.

Наибольшее распространение для изготовления термоэлектрических преобразователей получили платина, платинородий, хромель, алюмель.

Термопары имеют следующие преимущества: простота изготовления и надёжность в эксплуатации, дешевизна, отсутствие источников питания и возможность измерений в большом диапазоне температур.

Наряду с этим термопарам свойственны и некоторые недостатки - меньшая, чем у терморезисторов, точность измерения, наличие значительной тепловой инерционности, необходимость введения поправки на температуру свободных концов и необходимость в применении специальных соединительных проводов.

Инфрокрасные датчики (пирометры) - используют энергию излучения нагретых тел, что позволяет измерять температуру поверхности на расстоянии. Пирометры делятся на радиационные, яркостные и цветковые.

Радиационные пирометры используются для измерения температуры от 20 до 2500 °С, причем прибор измеряет интегральную интенсивность излучения реального объекта.

Яркостные (оптические) пирометры используются для измерения температур от 500 до 4000 °С. Они основаны на сравнении в узком участке спектра яркости исследуемого объекта с яркостью образцового излучателя (фотометрической лампы).

Цветовые пирометры основаны на измерении отношения интенсивностей излучения на двух длинах волн, выбираемых обычно в красной или синей части спектра; они используются для измерения температуры в диапазоне от 800 °С.

Пирометры позволяют измерять температуру в труднодоступных местах и температуру движущихся объектов, высокие температуры, где другие датчики уже не работают.

Кварцевые термопреобразователи

Для измерения температур от – 80 до 250 °С часто используются так называемые кварцевые термопреобразователи, использующие зависимость собственной частоты кварцевого элемента от температуры. Работа данных датчиков основана на том, что зависимость частоты преобразователя от температуры и линейность функции преобразования изменяются в зависимости от ориентации среза относительно осей кристалла кварца. Данные датчики широко используются в цифровых термометрах.

Пьезоэлектрические датчики

Действие пьезоэлектрических датчиков основано на использовании пьезоэлектрического эффекта (пьезоэффекта), заключающегося в том, что при сжатии или растяжении некоторых кристаллов на их гранях появляется электрический заряд, величина которого пропорциональна действующей силе.

Пьезоэффект обратим, т. е. приложенное электрическое напряжение вызывает деформацию пьезоэлектрического образца - сжатие или растяжение его соответственно знаку приложенного напряжения. Это явление, называемое обратным пьезоэффектом, используется для возбуждения и приема акустических колебаний звуковой и ультразвуковой частоты.

Используются для измерения сил, давления, вибрации и т.д.

Оптические (фотоэлектрические) датчики

Различают *аналоговые* и *дискретные* оптические датчики. У аналоговых датчиков выходной сигнал изменяется пропорционально внешней освещенности. Основная область применения – автоматизированные системы управления освещением.

Датчики дискретного типа изменяют выходное состояние на противоположное при достижении заданного значения освещенности.

Фотоэлектрические датчики могут быть применены практически во всех отраслях промышленности. Датчики дискретного действия используются как своеобразные бесконтактные выключатели для подсчета, обнаружения, позиционирования и других задач на любой технологической линии.

Оптический бесконтактный датчик, регистрирует изменение светового потока в контролируемой области, связанное с изменением положения в пространстве каких-либо движущихся частей механизмов и машин, отсутствия или присутствия объектов. Благодаря большим расстояниям срабатывания **оптические бесконтактные датчики** нашли широкое применение в промышленности и не только.

Оптический бесконтактный датчик состоит из двух функциональных узлов, приемника и излучателя. Данные узлы могут быть выполнены как в одном корпусе, так и в различных корпусах.

По методу обнаружения объекта фотоэлектрические датчики подразделяются на 4 группы:

1) пересечение луча - в этом методе передатчик и приемник разделены по разным корпусам, что позволяет устанавливать их напротив друг друга на рабочем расстоянии. Принцип работы основан на том, что передатчик постоянно посылает световой луч, который принимает приемник. Если световой сигнал датчика прекращается, в следствии перекрытия сторонним объектом, приемник немедленно реагирует меняя состояние выхода.

2) отражение от рефлектора - в этом методе приемник и передатчик датчика находятся в одном корпусе. Напротив датчика устанавливается рефлектор (отражатель). Датчики с рефлектором устроены так, что благодаря поляризационному фильтру они воспринимают отражение только от рефлектора. Это рефлекторы, которые работают по принципу двойного отражения. Выбор подходящего рефлектора определяется требуемым расстоянием и монтажными возможностями.

Посылаемый передатчиком световой сигнал отражаясь от рефлектора попадает в приемник датчика. Если световой сигнал прекращается, приемник немедленно реагирует, меняя состояние выхода.

3) отражение от объекта - в этом методе приемник и передатчик датчика находятся в одном корпусе. Во время рабочего состояния датчика все объекты, попадающие в его рабочую зону, становятся своеобразными рефлекторами. Как только световой лучотразившись от объекта попадает на приемник датчика, тот немедленно реагирует, меняя состояние выхода.

4) фиксированное отражение от объекта - принцип действия датчика такой же как и у "отражение от объекта" но более чутко реагирующий на отклонение от настройки на объект. Например, возможно детектирование вздутой пробки на бутылке с кефиром, неполное наполнение вакуумной упаковки с продуктами и т.д.

По своему назначению фотодатчики делятся на две основные группы: датчики общего применения и специальные датчики. К специальным, относятся типы датчиков, предназначенные для решения более узкого круга задач. К примеру, обнаружение цветной метки на объекте, обнаружение контрастной границы, наличие этикетки на прозрачной упаковке и т.д.

Задача датчика обнаружить объект на расстоянии. Это расстояние варьируется в пределах 0,3мм-50м, в зависимости от выбранного типа датчика и метода обнаружения.

Микроволновые датчики

На смену кнопочно - релейным пультам приходят микропроцессорные автоматические системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) высочайшей производительности и надежности, датчики оснащаются цифровыми интерфейсами связи, однако это не всегда приводит к повышению общей надежности системы и достоверности ее работы. Причина заключается в том, что сами принципы действия большинства известных типов датчиков накладывают жесткие ограничения на условия, в которых они могут использоваться.

1. 3 Лекция №3(2 часа).

Тема: «Логические и цифровые элементы и микроконтроллеры автоматики. Регуляторы. П-, И-, -законы регулирования»

1.3.1 Вопросы лекции:

1. Логические и цифровые элементы и микроконтроллеры автоматики.
2. Регуляторы. П-, И-, -законы регулирования

1.3.2 Краткое содержание вопросов:

1. Логические и цифровые элементы и микроконтроллеры автоматики.

Все многообразие автоматических, автоматизированных систем строится на использовании определенных элементов, устройств автоматики, которые реализуют заданные им функции. Подбор элементов автоматики при соответствующей их компоновке образует систему того или иного назначения. Интенсивное развитие элементной базы различной физической природы дало возможность промышленности освоить массовый выпуск элементов, устройств автоматизации, которые можно разделить на аналоговые и цифровые.

Аналоговые элементы автоматики создают разнообразные аналоговые системы автоматики. В них входная информация преобразуется в выходную информацию в виде аналоговых сигналов: электрического напряжения, тока, емкости, индуктивности, давления сжатого воздуха, жидкости, углов поворота, линейных перемещений и т.п., т.е. в элементе автоматики изменению входной величины соответствует изменение его физического аналога выходной величины. Закон изменения выходной величины зависит от назначения элемента автоматики. Простейшие устройства аналоговой автоматики известны уже более 2000 лет, например поплавковые регуляторы уровня жидкости.

Цифровые элементы автоматики появились сравнительно недавно. Одним из первых распространенных цифровых устройств автоматики стал телеграфный аппарат, в котором входная буквенно-числовая информация преобразуется в цифровой код чередования электрических импульсов, который передается по проводным линиям к приемнику дешифратора кода.

В цифровых элементах автоматики происходит изменение не аналоговых сигналов, а структур, последовательностей электрических импульсов («1» и «0») цифровых двоичных, восьмеричных, двоично-десятичных и других кодов. Цифровые системы автоматики способны решать очень сложные задачи автоматизации, недоступные аналоговым системам автоматики.

Массовое производство цифровых интегральных микросхем разной степени интеграции

обеспечивает широкие перспективы развития средств и систем цифровой автоматики. По своему назначению все аналоговые, а также многие цифровые элементы автоматики можно подразделить на следующие группы:

- воспринимающие элементы (датчики) — это преобразователи контролируемых или регулируемых величин в выходные сигналы, удобные для дистанционной передачи и дальнейшей обработки; датчики служат прежде всего для контроля за изменением технологических параметров: размеров лесоматериалов, влажности древесины, температуры и давления среды, расхода энергии, сырья и т.д.;
- усилительные элементы представляют собой устройства, в которых осуществляется увеличение мощности управляющего (входного) сигнала за счет энергии вспомогательного (управляемого) источника питания, причем связь между выходным и входным сигналами непрерывная и однозначная;
- исполнительные элементы — это устройства, которые по командному сигналу воздействуют на объект управления, изменяя поток энергии или материала посредством перемещения регулирующего органа;
- релейные элементы представляют собой устройства, в которых непрерывное изменение входной величины вызывает скачкообразное изменение выходной величины; релейные элементы дают возможность при помощи малых мощностей управлять распространением больших мощностей,
- логические элементы осуществляют определенные логические зависимости между входными и выходными сигналами; используются для построения дискретных систем автоматического контроля, управления, а также для создания различных устройств, блоков цифровой информатики;
- регулирующие и управляющие элементы служат для стабилизации или изменения по соответствующему алгоритму, программе параметров процессов; они включают в себя устройства широкого диапазона, от простейших кнопок управления, простых регуляторов прямого действия до управляющих цифровых вычислительных машин.

Микроконтроллер (англ. *MicroControllerUnit*, *MCU*) — микросхема, предназначенная для управления электронными устройствами.

Типичный микроконтроллер сочетает на одном кристалле функции процессора и периферийных устройств, содержит ОЗУ и (или) ПЗУ. По сути, это однокристальный компьютер, способный выполнять относительно простые задачи.

Отличается от микропроцессора интегрированными в микросхему устройствами ввода-вывода, таймерами и другими периферийными устройствами.

При проектировании микроконтроллеров приходится соблюдать компромисс между размерами и стоимостью с одной стороны и гибкостью и производительностью с другой. Для разных приложений оптимальное соотношение этих и других параметров может различаться очень сильно. Поэтому существует огромное количество типов микроконтроллеров, отличающихся архитектурой процессорного модуля, размером и типом встроенной памяти, набором периферийных устройств, типом корпуса и т. д. В отличие от обычных компьютерных микропроцессоров, в микроконтроллерах часто используется гарвардская архитектура памяти, то есть раздельное хранение данных и команд в ОЗУ и ПЗУ соответственно.

Кроме ОЗУ, микроконтроллер может иметь встроенную энергонезависимую память для хранения программы и данных. Многие модели контроллеров вообще не имеют шин для подключения внешней памяти.

Наиболее дешёвые типы памяти допускают лишь однократную запись, либо хранящая программа записывается в кристалл на этапе изготовления (конфигурацией набора технологических масок). Такие устройства подходят для массового производства в тех случаях, когда программа контроллера не будет обновляться. Другие модификации

контроллеров обладают возможностью многократной перезаписи программы в энергонезависимой памяти.

Неполный список периферийных устройств, которые могут использоваться в микроконтроллерах, включает в себя:

- универсальные цифровые порты, которые можно настраивать как на ввод, так и на вывод;
- аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи;
- компараторы;
- широтно-импульсные модуляторы ([ШИМ-контроллер](#));
- таймеры;
- контроллеры бесколлекторных двигателей, в том числе шаговых;
- контроллеры дисплеев и клавиатур;
- радиочастотные приемники и передатчики;
- массивы встроенной [флеш-памяти](#);
- встроенные тактовый генератор и сторожевой таймер;

Ограничения по цене и энергопотреблению ограничивает тактовую частоту контроллеров. Хотя производители стремятся обеспечить работу своих изделий на высоких частотах, они, в то же время, предоставляют заказчикам выбор, выпуская модификации, рассчитанные на разные частоты и напряжения питания. Во многих моделях микроконтроллеров используется статическая память для ОЗУ и внутренних регистров. Это даёт контроллеру возможность работать на меньших частотах и даже не терять данные при полной остановке тактового генератора. Часто предусмотрены различные режимы энергосбережения, в которых отключается часть периферийных устройств и вычислительный модуль.

Использование в современном микроконтроллере достаточного мощного вычислительного устройства с широкими возможностями, построенного на одной микросхеме вместо целого набора, значительно снижает размеры, энергопотребление и стоимость построенных на его базе устройств.

Используются в управлении различными устройствами и их отдельными блоками:

- в вычислительной технике: материнские платы, контроллеры дисководов жестких и гибких дисков, CD и DVD, калькуляторы;
- электронике и разнообразных устройствах бытовой техники, в которой используется электронные системы управления — стиральных машинах, микроволновых печах, посудомоечных машинах, телефонах и современных приборах, различных роботах, системах «умный дом», и др..

В промышленности:

- устройства промышленной автоматики — от программируемого реле и встраиваемых систем до ПЛК,
- систем управления станками

В то время как 8-разрядные микропроцессоры общего назначения полностью вытеснены более производительными моделями, 8-разрядные микроконтроллеры продолжают широко использоваться. Это объясняется тем, что существует большое количество применений, в которых не требуется высокая производительность, но важна низкая стоимость. В то же время, есть микроконтроллеры, обладающие большими вычислительными возможностями, например, цифровые сигнальные процессоры,

применяющиеся для обработки большого потока данных в реальном времени (например, аудио-, видеопотоков).

2. Регуляторы. П-, И-, -законы регулирования

По принципу регулирования все системы автоматического регулирования подразделяются на четыре класса.

1. Система автоматической стабилизации - система, в которой регулятор поддерживает постоянным заданное значение регулируемого параметра.
2. Система программного регулирования - система, обеспечивающая изменение регулируемого параметра по заранее заданному закону (во времени).
3. Следящая система - система, обеспечивающая изменение регулируемого параметра в зависимости от какой-либо другой величины.
4. Система экстремального регулирования - система, в которой регулятор поддерживает оптимальное для изменяющихся условий значение регулируемой величины.

Для регулирования температурного режима электронагревательных установок применяются в основном системы двух первых классов.

Системы автоматического регулирования температуры по роду действия можно разделить на две группы: **прерывистого и непрерывного регулирования.**

Автоматические регуляторы систем автоматического регулирования (САР) по функциональным особенностям разделены на пять типов: позиционные (релейные), пропорциональные (статические), интегральные (астатические), изодромные (пропорционально-интегральные), изодромные с предварением и с первой производной. Позиционные регуляторы относятся к прерывистым САР, а остальные типы регуляторов - к САР непрерывного действия. Ниже рассмотрены основные особенности позиционных, пропорциональных, интегральных и изодромных регуляторов, имеющих наибольшее применение в системах автоматического регулирования температуры.

Функциональная схема автоматического регулирования температуры (рис. 1) состоит из объекта регулирования 1, датчика температуры 2, программного устройства или задатчика уровня температуры 4, регулятора 5 и исполнительного устройства 8. Во многих случаях между датчиком и программным устройством ставится первичный усилитель 3, а между регулятором и исполнительным устройством - вторичный усилитель 6. Дополнительный датчик 7 применяется в изодромных системах регулирования.

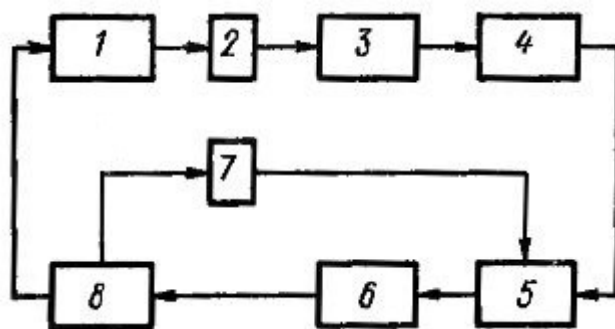


Рис. 1. Функциональная схема автоматического регулирования температуры

В качестве датчиков температуры применяются термопары, термосопротивления (термисторы) и термометры сопротивления. Наиболее часто используются термопары. Более подробно про них смотрите здесь: [Термоэлектрические преобразователи \(термопары\)](#)

Позиционные (релейные) регуляторы температуры

Позиционными называют такие регуляторы, у которых регулирующий орган может занимать два или три определенных положения. В электронагревательных установках

применяются двух- и трехпозиционные регуляторы. Они просты и надежны в эксплуатации.

На рис. 2 показана принципиальная схема двухпозиционного регулирования температуры воздуха.

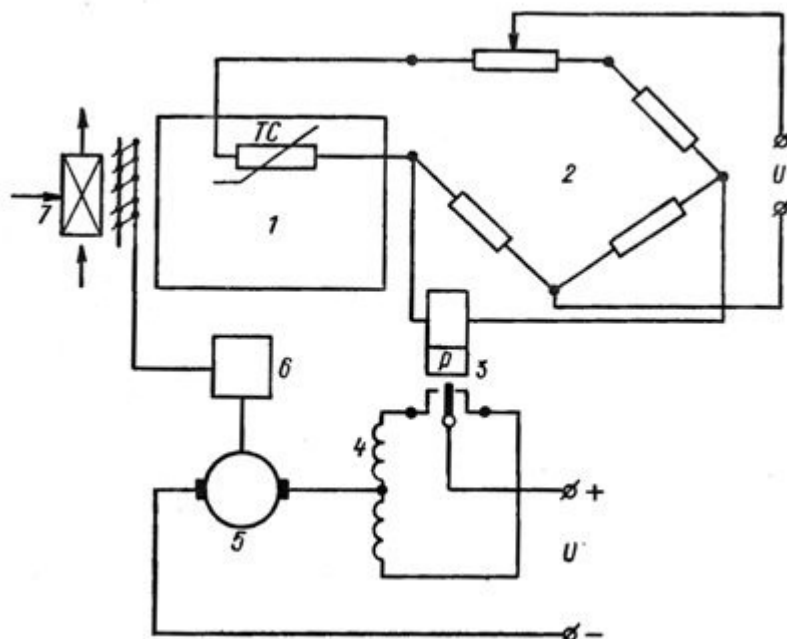


Рис. 2. Принципиальная схема двухпозиционного регулирования температуры воздуха: 1 - объект регулирования, 2 - измерительный мост, 3 - поляризованное реле, 4 - обмотки возбуждения электродвигателя, 5 - якорь электродвигателя, 6 - редуктор, 7 - калорифер.

Для контроля температуры в объекте регулирования служит термосопротивление ТС, включенное в одно из плеч измерительного моста 2. Величины сопротивлений моста подбираются таким образом, чтобы при заданной температуре мост был уравновешен, то есть напряжение в диагонали моста равнялось нулю. При повышении температуры поляризованное реле 3, включенное в диагональ измерительного моста, включает одну из обмоток 4 электродвигателя постоянного тока, который с помощью редуктора 6 закрывает воздушный клапан перед калорифером 7. При понижении температуры воздушный клапан полностью открывается.

При двухпозиционном регулировании температуры количество подаваемого тепла может устанавливаться только на двух уровнях - максимальном и минимальном. Максимальное количество тепла должно быть больше необходимого для поддержания заданной регулируемой температуры, а минимальное - меньше. В этом случае температура воздуха колеблется около заданного значения, то есть устанавливается так называемый **автоколебательный режим** (рис. 3, а).

Линии, соответствующие температурам t_n и t_v , определяют нижнюю и верхнюю границы зоны нечувствительности. Когда температура регулируемого объекта, уменьшаясь, достигает значения t_n количество подаваемого тепла мгновенно увеличивается и температура объекта начинает возрастать. Достигнув значения t_v , регулятор уменьшает подачу тепла, и температура понижается.

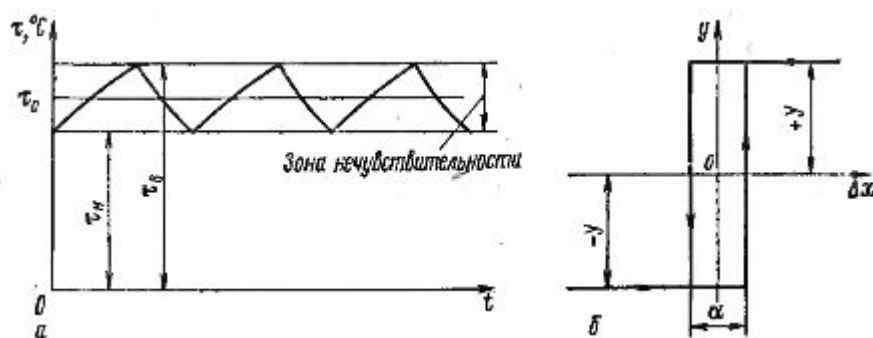


Рис. 3. Временная характеристика двухпозиционного регулирования (а) и статическая характеристика двухпозиционного регулятора (б).

Скорость повышения и понижения температуры зависит от свойств объекта регулирования и от его временной характеристики (кривой разгона). Колебания температуры не выходят за границы зоны нечувствительности, если изменения подачи тепла сразу вызывают изменения температуры, то есть если отсутствует **запаздывание регулируемого объекта**.

С уменьшением зоны нечувствительности амплитуда колебаний температуры уменьшается вплоть до нуля при $\tau_H = \tau_B$. Однако для этого требуется, чтобы подача тепла изменялась с бесконечно большой частотой, что практически осуществить чрезвычайно трудно. Во всех реальных объектах регулирования имеется запаздывание. Процесс регулирования в них протекает примерно так.

При понижении температуры объекта регулирования до значения τ_H мгновенно изменяется подача тепла, однако из-за запаздывания температура некоторое время продолжает снижаться. Затем она повышается до значения τ_B , при котором мгновенно уменьшается подача тепла. Температура продолжает еще некоторое время повышаться, затем из-за уменьшенной подачи тепла температура понижается, и процесс повторяется вновь.

На рис. 3, б приведена **статическая характеристика двухпозиционного регулятора**. Из нее следует, что регулирующее воздействие на объект может принимать только два значения: максимальное и минимальное. В рассмотренном примере максимум соответствует положению, при котором воздушный клапан (см. рис. 2) полностью открыт, минимум - при закрытом клапане.

Знак регулирующего воздействия определяется знаком отклонения регулируемой величины (температуры) от ее заданного значения. Величина регулирующего воздействия постоянна. Все двухпозиционные регуляторы обладают гистерезисной зоной α , которая возникает из-за разности токов срабатывания и отпускания электромагнитного реле.

Пример использования двухпозиционного регулирования температуры: Автоматическое регулирование температуры в печах нагрева сопротивлением

Пропорциональные (статические) регуляторы температуры

В тех случаях, когда необходима высокая точность регулирования или когда недопустим автоколебательный процесс, применяют **регуляторы с непрерывным процессом регулирования**. К ним относятся **пропорциональные регуляторы (П-регуляторы)**, пригодные для регулирования самых разнообразных технологических процессов.

В тех случаях, когда необходима высокая точность регулирования или когда недопустим автоколебательный процесс, применяют регуляторы с непрерывным процессом регулирования. К ним относятся пропорциональные регуляторы (П-регуляторы), пригодные для регулирования самых разнообразных технологических процессов.

В системах автоматического регулирования с П-регуляторами положение регулирующего органа (y) прямо пропорционально значению регулируемого параметра (x):

$$y = k_1 x,$$

где k_1 - коэффициент пропорциональности (коэффициент усиления регулятора).

Эта пропорциональность имеет место, пока регулирующий орган не достигнет своих крайних положений (конечных выключателей). Скорость перемещения регулирующего органа прямо пропорциональна скорости изменения регулируемого параметра. На рис. 4 показана принципиальная схема системы автоматического регулирования температуры воздуха в помещении при помощи пропорционального регулятора. Температура в помещении измеряется термометром сопротивления ТС, включенным в схему измерительного моста 1.

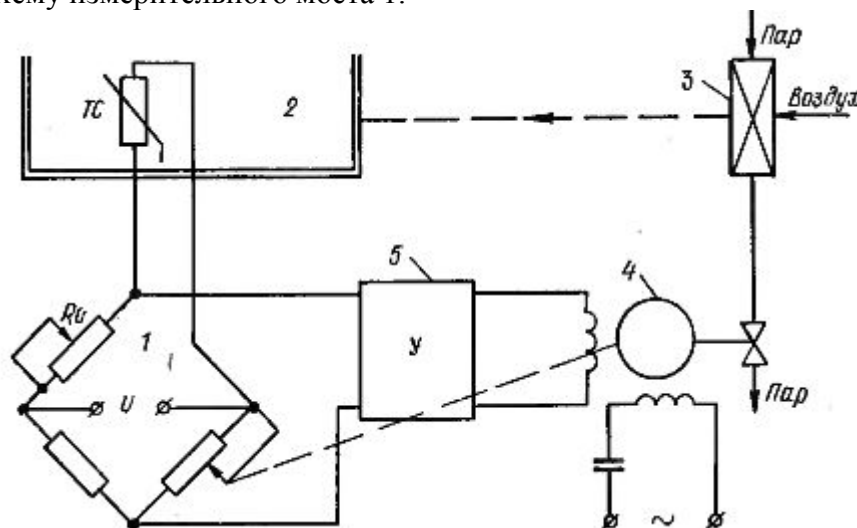


Рис. 4. Схема пропорционального регулирования температуры воздуха: 1 - измерительный мост, 2 - объект регулирования, 3 - теплообменник, 4 - конденсаторный двигатель, 5 - фазочувствительный усилитель.

При заданной температуре мост уравновешен. При отклонении регулируемой температуры от заданного значения в диагонали моста возникает напряжение разбаланса, величина и знак которого зависят от величины и знака отклонения температуры. Это напряжение усиливается фазочувствительным усилителем 5, на выходе которого включена обмотка двухфазного конденсаторного двигателя 4 исполнительного механизма. Исполнительный механизм перемещает регулирующий орган, изменяя поступление теплоносителя в теплообменник 3. Одновременно с перемещением регулирующего органа происходит изменение сопротивления одного из плеч измерительного моста, в результате этого изменяется температура, при которой уравнивается мост. Таким образом, каждому положению регулирующего органа из-за жесткой обратной связи соответствует свое равновесное значение регулируемой температуры.

Для пропорционального (статического) регулятора характерна **остаточная неравномерность регулирования**.

В случае скачкообразного отклонения нагрузки от заданного значения (в момент t_1) регулируемый параметр придет по истечении некоторого отрезка времени (момент t_2) к новому установившемуся значению (рис. 4). Однако это возможно только при новом положении регулирующего органа, то есть при новом значении регулируемого параметра, отличающегося от заданного на величину δ .

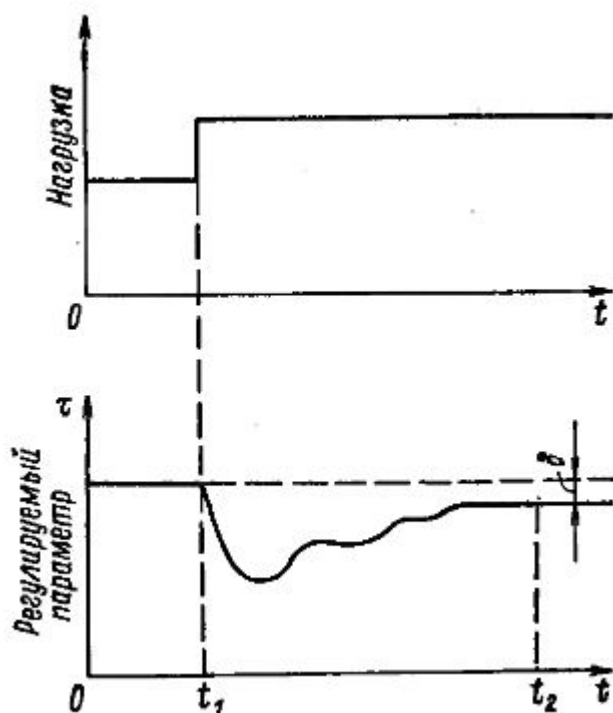


Рис. 5. Временные характеристики пропорционального регулирования

Недостаток пропорциональных регуляторов состоит в том, что каждому значению параметра соответствует только одно определенное положение регулирующего органа. Для поддержания заданного значения параметра (температуры) при изменении нагрузки (расхода тепла) необходимо, чтобы регулирующий орган занял другое положение, соответствующее новому значению нагрузки. В пропорциональном регуляторе этого не происходит, вследствие чего возникает остаточное отклонение регулируемого параметра.

Интегральные (астатические регуляторы)

Интегральными (астатическими) называются такие регуляторы, в которых при отклонении параметра от заданного значения регулирующий орган перемещается более или менее медленно и все время в одном направлении (в пределах рабочего хода) до тех пор, пока параметр снова не примет заданного значения. Направление хода регулирующего органа изменяется лишь тогда, когда параметр переходит через заданное значение.

В интегральных регуляторах электрического действия обычно искусственно создается зона нечувствительности, в пределах которой изменение параметра не вызывает перемещений регулирующего органа.

Скорость перемещения регулирующего органа в интегральном регуляторе может быть постоянной и переменной. Особенностью интегрального регулятора является отсутствие пропорциональной связи между установившимися значениями регулируемого параметра и положением регулирующего органа.

На рис. 6 приведена принципиальная схема системы автоматического регулирования температуры при помощи интегрального регулятора. В ней в отличие от схемы пропорционального регулирования температуры (см. рис. 4) нет жесткой обратной связи.

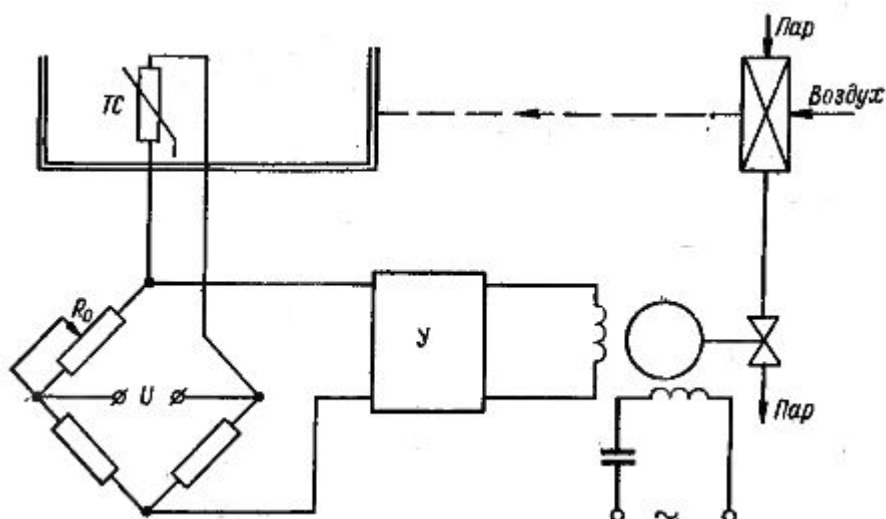


Рис. 6. Схема интегрального регулирования температуры воздуха

В интегральном регуляторе скорость регулирующего органа прямо пропорциональна величине отклонения регулируемого параметра. Процесс интегрального регулирования температуры при скачкообразном изменении нагрузки (расхода тепла) отображен на рис. 7 с помощью временных характеристик. Как видно из графика, регулируемый параметр при интегральном регулировании медленно возвращается к заданному значению.

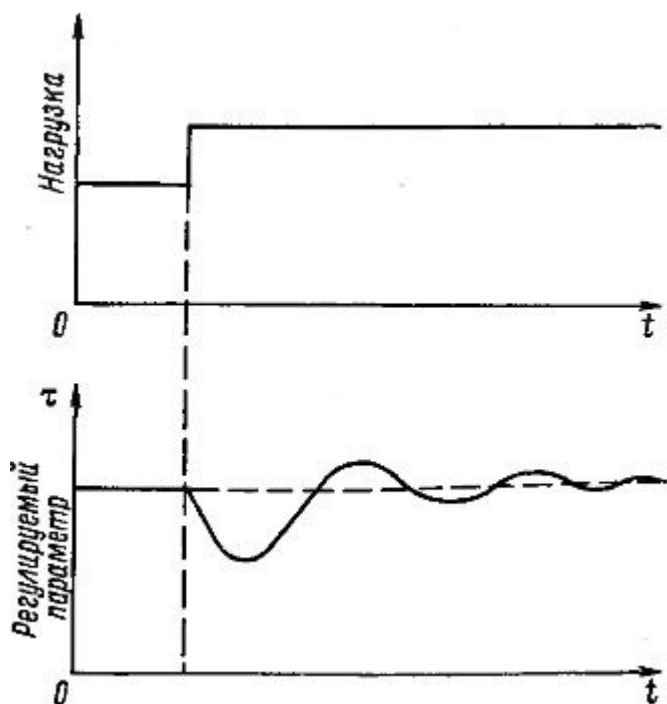


Рис. 7. Временные характеристики интегрального регулирования

1. Пропорциональный закон (П-закон).

Это закон реализуется пропорциональным регулятором (П-регулятором). П-регулятор реализует статическое регулирование. Рассматриваемые законы регулирования реализуются при помощи автоматических устройств или регуляторов, на вход которых подается отклонение управляемой величины (сигнал рассогласования), а на выходе формируется управляющее воздействие.

Уравнение П-закона имеет вид:

$$U(t) = k_p \cdot \varepsilon(t) \quad 1.1$$

где k_p - коэффициент передачи регулятора (коэффициент усиления регулятора).

$U(t)$ – управляющее воздействие (формируется на выходе регулятора).

$e(t)$ – отклонение управляемой (регулируемой) величины от заданного значения (поступает на вход регулятора).

2. Интегральный закон (И-закон).

Рассматриваемый закон реализуется И-регулятором в процессе астатического регулирования. Уравнение закона:

$$U(t) = \frac{k_p}{T_i} \int_0^t \varepsilon(t) dt \quad 1.2$$

$$\frac{dU(t)}{dt} = \frac{k_p}{T_i} \cdot \varepsilon(t) \quad 1.3$$

где k_p – коэффициент передачи И-регулятора

T_i – постоянная времени интегрирования И-регулятора

1. 4 Лекция №4(2 часа).

Тема: «Регуляторы. ПИ- и ПИД -законы регулирования. Преобразование структурных схем САУ»

1.4.1 Вопросы лекции:

- 1.Регуляторы. ПИ- и ПИД -законы регулирования
2. Преобразование структурных схем САУ

1.4.2 Краткое содержание вопросов:

- 1.Регуляторы. ПИ- и ПИД -законы регулирования

Изодромные (пропорционально-интегральные) регуляторы

Изодромное регулирование обладает свойствами как пропорционального, так и интегрального регулирования. Скорость перемещения регулирующего органа зависит от величины и скорости отклонения регулируемого параметра.

При отклонении регулируемого параметра от заданного значения регулирование осуществляется следующим образом. Вначале регулирующий орган перемещается в зависимости от величины отклонения регулируемого параметра, то есть имеет место пропорциональное регулирование. Затем регулирующий орган совершает дополнительное

перемещение, которое необходимо для устранения остаточной неравномерности (интегральное регулирование).

Изодромную систему регулирования температуры воздуха (рис. 8) можно получить заменой жесткой обратной связи в схеме пропорционального регулирования (см. рис. 5) упругой обратной связью (от регулирующего органа к движку сопротивления обратной связи). Электрическая обратная связь в изодромной системе осуществляется потенциометром и вводится в систему регулирования через контур, содержащий сопротивление R и емкость C .

В течение переходных процессов сигнал обратной связи вместе с сигналом отклонения параметра воздействует на последующие элементы системы (усилитель, электродвигатель). При неподвижном регулирующем органе, в каком бы положении он ни находился, по мере заряда конденсатора C сигнал обратной связи затухает (в установившемся режиме он равен нулю).

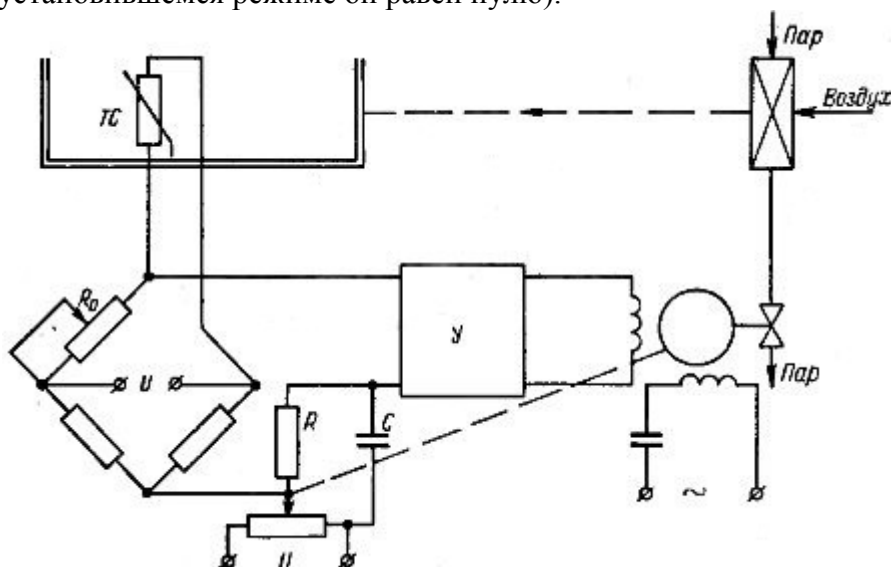


Рис. 8. Схема изодромного регулирования температуры воздуха

Для изодромного регулирования характерно, что неравномерность регулирования (относительная ошибка) с увеличением времени уменьшается, приближаясь к нулю. При этом обратная связь не будет вызывать остаточных отклонений регулируемой величины. Таким образом, изодромное регулирование приводит к значительно лучшим результатам, чем пропорциональное или интегральное (не говоря уже о позиционном регулировании). Пропорциональное регулирование в связи с наличием жесткой обратной связи происходит практически мгновенно, изодромное - замедленно.

Программные системы автоматического регулирования температуры

Для осуществления программного регулирования необходимо непрерывно воздействовать на настройку (уставку) регулятора так, чтобы регулируемая величина изменялась по заранее заданному закону. С этой целью узел настройки регулятора снабжается программным элементом. Это устройство служащее для установления закона изменения задаваемой величины.

При электронагреве исполнительный механизм САР может воздействовать на включение или отключение секций электронагревательных элементов, изменяя тем самым температуру нагреваемой установки в соответствии с заданной программой. Программное регулирование температуры и влажности воздуха широко применяется в установках искусственного климата.

3. Пропорционально-интегральный закон (ПИ-закон)

Данный закон регулируется ПИ-регулятором, т.е. происходит пропорциональное регулирование с интегральной коррекцией. Регулирование в данном случае является астатическим. Выражение ПИ-закона:

$$U(t) = k_p(\varepsilon(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t \varepsilon(t) dt) \quad 1.4$$

$$\frac{dU(t)}{dt} = k_p \left(\frac{d\varepsilon(t)}{dt} + \frac{\varepsilon(t)}{T_i} \right) \quad 1.5$$

4. Пропорционально-интегрально-дифференциальный закон (ПИД-закон).

Данный закон регулируется ПИД-регулятором, а само регулирование является астатическим. Выражение этого закона:

$$U(t) = k_p \left(\varepsilon(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t \varepsilon(t) dt + T_d \frac{d\varepsilon(t)}{dt} \right) \quad 1.6$$

где T_i ; T_d – постоянные времени интегрирования и дифференцирования ПИД-регулятора.

Графики поведения управления управляемой величины во времени, при участии в системе различных регуляторов. Рассматриваемый ОУ обладает свойством саморегулирования

1 – система самовыравнивания без регулирования.

2 – система с П-регулятором.

3 – система с И-регулятором.

4 – система с ПИ-регулятором.

5 – система с ПИД-регулятором.

2. Преобразование структурных схем САУ

Обычно структурная схема САУ состоит из отдельных элементов, соединенных последовательно, параллельно или с помощью обратных связей, т.е. САУ можно рассматривать как комбинацию типовых динамических звеньев. Изображение системы управления в виде совокупности типовых и нетиповых динамических звеньев с указанием связей между ними носит название **структурной схемы** системы. Звено в этом случае выступает как элементарная структурная единица, преобразователь информации. Каждый элемент имеет один вход и один выход и заданную передаточную функцию. Существуют следующие правила структурных преобразований, позволяющие по передаточным функциям отдельных элементов определить требуемую передаточную функцию.

При последовательном соединении элементов передаточные функции перемножаются.

При параллельном соединении передаточные функции суммируются. Правила структурных преобразований при наличии обратных связей (встречно-параллельное соединение) представлены на рис 1

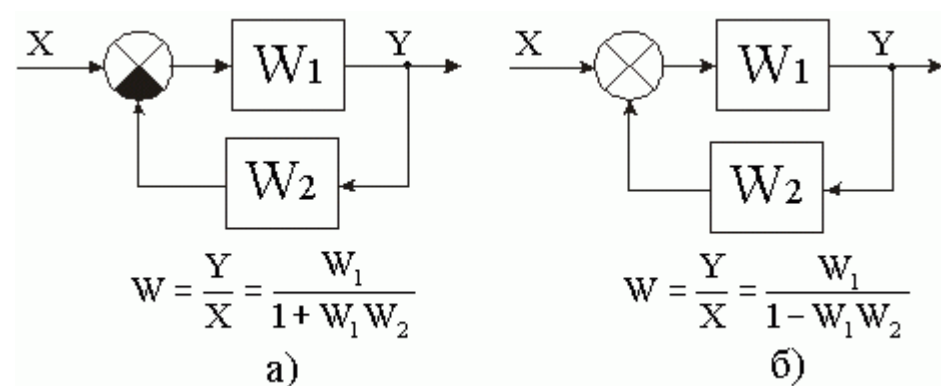


Рис. 1. Правила структурных преобразований при наличии обратных связей: а - положительная, б - отрицательная.

Если задана многоконтурная структура САУ, то с помощью структурных преобразований она может быть приведена к одноконтурной. При этом используется ряд дополнительных правил, связанных с переносом элементов структурной схемы. Эти правила сведены в таблицу 1

Таблица 1

Правила структурных преобразований

Преобразование	Структурная схема	
	Исходная	Эквивалентная
Перенос узла через элемент		
Перенос сумматора через элемент		

Переместительная узла сумматора		
Перенос сумматора через сумматор		
Перенос через узел		

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

2.1 Лабораторная работа №1(4часа).

Тема: «Автоматическая система управления наружным освещением»

2.1.1 Цель работы: Изучить принцип действия автоматической системы управления наружным освещением

2.1.2 Задачи работы:

1. Приобретение навыков в управлении автоматической системой наружным освещением при помощи контроллера в соответствии заложенными в нем логических функций.

2.1.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Однофазный источник питания
2. Блок программируемого контроллера
3. Пост управления
4. Блок световой сигнализации
5. Датчик освещенности

2.1.4 Описание (ход) работы:

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
2. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений.
3. Включите устройство защитного отключения и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.
4. Включите выключатель «СЕТЬ» блока программируемого контроллера A1.
5. Переведите контроллер в режим отображения «Главного меню»
6. Загрузите или введите в контроллер коммутационную программу. При вводе программы вручную номера блоков зависят от выбранной вами последовательности их включения в программу, и могут отличаться от указанных в приведенной выше программе. Для правильного соединения необходимо указать на схеме номера блоков вашей программы. Задайте параметры аналогового порогового выключателя (блок B002): порог включения (On=200, 2,00 В) и выключения (Off=100, 1,00 В). Запустите программу на исполнение (пункт Start «Главного меню»).
7. Протестируйте работу схемы под управлением контроллера.
 Проверьте состояние кнопки включения/отключения системы (кнопка с фиксацией поста управления A2). Установите её в состояние «замкнуто» - на вход II подан высокий уровень, система включена.
 Затая датчик освещенности, проверьте работу системы. При необходимости, скорректируйте схему, коммутационную программу и пороги срабатывания реле. За состоянием входов и выходов удобно следить на экране их состояния (входы I – цифровые, AI – аналоговые, выходы – Q; переход из «Меню запуска» нажатием кнопки ►, см. п. 1.1.6). Значения порогов срабатывания реле можно уточнить наблюдая на экране состояния аналоговых входов (AI:) уровень выходного сигнала датчика освещенности. В строке 2: этого экрана отображается значение сигнала на входе AI2 в вольтах×100 (например, 00225 соответствует 2,25 В).
 Убедитесь, что система функционирует в соответствии с заданным алгоритмом.
8. По завершении эксперимента остановите коммутационную программу (ESC>Stop>Yes), отключите выключатель «СЕТЬ» блока программируемого контроллера A1 и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.

2.2 Лабораторная работа №2(4 часа).

Тема: «Автоматическая система управления внутренним освещением»

2.2.1 Цель работы: Изучить принцип действия автоматической системы управления внутренним освещением

2.2.2 Задачи работы:

1. Приобретение навыков в управлении автоматической системы внутреннего освещения, при помощи контроллера

2. Формировании навыков в программировании контроллера.

2.2.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Однофазный источник питания

2. Блок программируемого контроллера
3. Пост управления
4. Блок световой сигнализации
5. Блок оптических выключателей

2.2.4 Описание (ход) работы:

- 1 Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- 2 Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений.
- 3 Включите устройство защитного отключения и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.
- 4 Включите выключатель «СЕТЬ» блока программируемого контроллера A1.
- 5 Переведите контроллер в режим отображения «Главного меню» (состояние STOP, см. п. 1.1.3.).
- 6 Загрузите или введите в контроллер коммутационную программу. При вводе программы вручную номера блоков зависят от выбранной вами последовательности их включения в программу, и могут отличаться от указанных в приведенной выше программе. Для правильного соединения необходимо указать на схеме номера блоков вашей программы. Задайте задержки выключения - 5 с для B007 и B008 (05:00 в параметрах блоков). Запустите программу на исполнение (пункт Start «Главного меню»).
- 7 Протестируйте работу схемы под управлением контроллера.
Проверьте состояние кнопки включения/отключения системы (кнопка с фиксацией поста управления A2). Установите её в состояние «замкнуто» - на вход П подан высокий уровень, система включена.
Используя рукоятку в верхней части блока A4 перемещайте «объект» (отражатель) из зоны действия одного датчика в зону действия другого. О срабатывании датчика сигнализирует свечение светодиода на его корпусе (виден через окно на лицевой панели блока A4). За состоянием входов и выходов контроллера удобно следить на экране их состояния (входы I – цифровые, AI – аналоговые, выходы – Q. Переход из «Меню запуска» нажатием кнопки ►, см. п. 1.1.6). Убедитесь, что система функционирует в соответствии с заданным алгоритмом.
При необходимости, скорректируйте схему и коммутационную программу.
- 8 По завершении эксперимента остановите коммутационную программу (ESC>Stop>Yes), отключите выключатель «СЕТЬ» блока программируемого контроллера A1 и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.

2.3 Лабораторная работа №3(4 часа).

Тема: «Автоматическая система управления звуковым оповещением»

2.3.1 Цель работы: Изучить принцип действия автоматической системы управления звуковым оповещением

2.3.2 Задачи работы:

1. Приобретение навыков в управлении автоматической системы звукового оповещения в соответствии с заложенной в контроллер основной и специальной логических функций.

2.3.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Однофазный источник питания
2. Блок программируемого контроллера
3. Пост управления
4. Зуммер

2.3.4 Описание (ход) работы:

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
2. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрических соединений.
3. Включите устройство защитного отключения и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.
4. Включите выключатель «СЕТЬ» блока программируемого контроллера A1.
5. Переведите контроллер в режим отображения «Главного меню» (состояние STOP, см. п. 1.1.3.).
6. Загрузите или введите в контроллер коммутационную программу. Задайте параметры блока B001 (B1 на экране контроллера). Запустите программу на исполнение (пункт Start «Главного меню»).
7. Протестируйте работу схемы под управлением контроллера.
Проверьте состояние кнопки включения/отключения системы (кнопка с фиксацией поста управления A2). Установите её в состояние «замкнуто» - на вход I1 подан высокий уровень, система включена.
При необходимости, скорректируйте схему, коммутационную программу и параметры блоков. За состоянием входов и выходов удобно следить на экране их состояния (входы I – цифровые, AI – аналоговые, выходы - Q) (переход из «Меню запуска» нажатием кнопки ►, см. п. 1.1.6).
Убедитесь, что система функционирует в соответствии с заданным алгоритмом.
8. По завершении эксперимента остановите коммутационную программу (ESC>Stop>Yes), отключите выключатель «СЕТЬ» блока программируемого контроллера A1 и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.

2.4 Лабораторная работа №4(4часа).

Тема: «Автоматическая система управления светофором»

2.4.1 Цель работы: Изучить автоматическую систему управления светофором, приобрести навыки в управлении и программировании контроллера.

2.4.2 Задачи работы:

1. Приобрести навыки в управлении и программировании контроллера.

2.4.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Однофазный источник питания
2. Блок программируемого контроллера
3. Пост управления
4. Блок световой сигнализации

2.2.4 Описание (ход) работы:

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
2. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений.
3. Включите устройство защитного отключения и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.
4. Включите выключатель «СЕТЬ» блока программируемого контроллера A1.
5. Переведите контроллер в режим отображения «Главного меню» (состояние STOP, см. п. 1.1.3.).
6. Запустите программу на исполнение.
7. Протестируйте работу схемы под управлением контроллера. Проверьте состояние кнопки включения/отключения системы (кнопка с фиксацией поста управления A2). Установите её в состояние «замкнуто» - на вход I1 подан высокий уровень, система включена. Убедитесь в правильной работе схемы и коммутационной программы. Лампы должны переключаться в заданном порядке через установленные промежутки времени.
8. При необходимости, скорректируйте схему и коммутационную программу. За состоянием входов и выходов удобно следить на экране их состояния (входы I – цифровые, AI – аналоговые, выходы – Q, переход из «Меню запуска» нажатием кнопки ►, см. п. 1.1.6).
9. По завершении эксперимента остановите коммутационную программу, отключите выключатель «СЕТЬ» блока программируемого контроллера A1 и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1

2.5 Лабораторная работа №5 (4 часа).

Тема: «Система автоматического включения резервного питания»

2.5.1 Цель работы: Изучить систему автоматического включения резервного питания

2.5.2 Задачи работы:

1. приобрести навыки управления и программирования контроллера.

2.5.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Однофазный источник питания
2. Блок программируемого контроллера
3. Пост управления
4. Блок световой сигнализации

2.5.4 Описание (ход) работы:

- 1 Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений.
- 2 Включите устройство защитного отключения и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.
- 3 Включите выключатель «СЕТЬ» блока программируемого контроллера A1.
- 4 Переведите контроллер в режим отображения «Главного меню» (состояние STOP, см. п. 1.1.3.).

- 5 Протестируйте работу схемы под управлением контроллера. Проверьте состояние кнопок управления системой: кнопки с фиксацией поста управления А2 должны быть разомкнуты. Убедитесь, что система функционирует в соответствии с заданным алгоритмом, как при отключенной системе автоматического резервирования (цепь нижней кнопки, подключенной к входу I3, разомкнута), так и при включенном автоматическом резервировании (нижняя кнопка замкнута, на входе I3 – напряжение логической 1). При необходимости, скорректируйте схему, коммутационную программу и параметры блоков. За состоянием входов и выходов удобно следить на экране их состояния (входы I – цифровые, AI – аналоговые, выходы - Q) (переход из «Меню запуска» нажатием кнопки ►, см. п. 1.1.6).
- 6 По завершении эксперимента остановите коммутационную программу (ESC>Stop>Yes), отключите выключатель «СЕТЬ» блока программируемого контроллера А1 и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.

2.6 Лабораторная работа №6(4часа).

Тема: «Автоматическая система управления исполнительным электродвигателем»

2.6.1 Цель работы: Изучить систему автоматического управления исполнительным электродвигателем

2.6.2 Задачи работы:

1. Приобретение навыков в управлении и программировании контроллера, а также заложенных в нем основных и специальных логических функций.

2.6.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Однофазный источник питания
2. Блок программируемого контроллера
3. Пост управления
4. Блок световой сигнализации
5. Исполнительный электродвигатель

2.6.4 Описание (ход) работы:

- 1 Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- 2 Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений.
- 3 Включите устройство защитного отключения и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.
- 4 Включите выключатель «СЕТЬ» блока программируемого контроллера А1.
- 5 Переведите контроллер в режим отображения «Главного меню» (состояние STOP, см. п. 1.1.3.).
- 6 Загрузите или введите в контроллер коммутационную программу. При вводе программы вручную номера блоков зависят от выбранной вами последовательности их включения в программу, и могут отличаться от указанных в приведенной выше программе. Для правильного соединения необходимо указать на схеме номера блоков вашей программы. Задайте параметры блока В001 (On=500, Off=500). Запустите программу на исполнение (пункт Start «Главного меню»).

- 7 Протестируйте работу схемы под управлением контроллера.
Кнопки без фиксации поста управления А2 управляют двигателем А7: верхняя подает сигнал для начала вращения двигателя против часовой стрелки, вторая сверху – по часовой стрелке, третья сверху подает сигнал на останов двигателя.
Убедитесь, что цепь и коммутационная программа работают в соответствии с заданным алгоритмом.
- 8 По завершении эксперимента остановите коммутационную программу (**ESC>Stop>Yes**), отключите выключатель «СЕТЬ» блока программируемого контроллера А1 и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.