

**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 очная

СОДЕРЖАНИЕ

1. Конспект лекций.....	3
1.1. Лекция № 1 Предмет и значение дисциплины. Основные понятия, определения	3
1.2 Лекция № 2 Классификация автоматических систем управления.	5
1.3 Лекция № 3 Классификация технических средств автоматики.....	6
1.4 Лекция № 4 Классификация датчиков.	8
1.5 Лекция № 5 Логические и цифровые элементы и микроконтроллеры автоматики..	15
1.6 Лекция № 6 Регуляторы. П-, И-, -законы регулирования.....	18
1.7 Лекция № 7 Регуляторы. ПИ- и ПИД-законы регулирования.....	24
1.8 Лекция № 8 Преобразование структурных схем САУ.....	26
1.9 Лекция № 9 Необходимые и достаточные условия устойчивости линейных САУ.....	28
1.10 Лекция № 10 Алгебраические и частотные критерии устойчивости.....	31
1.11 Лекция № 11 Точность работы САУ.....	36
1.12 Лекция № 12 Производственный процесс и его автоматизация.....	38
1.13 Лекция № 13 Требования при разработке систем автоматического управления....	44
1.14 Лекция № 14 Построение структуры по заданной электрической схеме цепи.....	46
1.15 Лекция № 15 Построение передаточной функции по заданной электрической схеме цепи.....	50
2. Методические указания по выполнению лабораторных работ.....	54
2.1 Лабораторная работа № ЛР-1,2 Автоматическая система управления наружным освещением.....	54
2.2 Лабораторная работа № ЛР-3,4 Автоматическая система управления внутренним освещением.....	55
2.3 Лабораторная работа № ЛР-5,6 Автоматическая система управления звуковым оповещением	56
2.4 Лабораторная работа № ЛР-7,8 Автоматическая система управления светодиффузором.....	57
2.5 Лабораторная работа № ЛР-9,10 Система автоматического включения резервного питания.....	58
2.6 Лабораторная работа № ЛР-11,12 Автоматическая система управления исполнительным электродвигателем.....	59
2.7 Лабораторная работа № ЛР-13,14 Автоматическая система управления исполнительным электродвигателем с помощью переменного резистора.....	59
2.8 Лабораторная работа № ЛР-15 Автоматическая система пожарной сигнализации.....	60

1. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

1. 1 Лекция №1 (2 часа).

Тема: «Предмет и значение дисциплины. Основные понятия, определения»

1.1.1 Вопросы лекции:

1. Предмет и значение дисциплины
2. Основные понятия, определения и терминология автоматики

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 (дисплей);

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)*.

1. 2 Лекция №2 (2 часа).

Тема: «Классификация автоматических систем управления»

1.2.1 Вопросы лекции:

1. Классификация автоматических систем управления

1.2.2 Краткое содержание вопросов:

1. Классификация автоматических систем управления

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

1. По характеру алгоритма функционирования:

1.1 Система стабилизации.

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

1.2 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.

1.3 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.

2. 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.

2.1 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.

2.2 Системы с перестраиваемыми устройствами.

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

2.3 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.

3 По характеру управления во времени.

3.1. Непрерывные САУ.

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

4. По математическому описанию.

4.1 Линейные САУ.

4.2 Нелинейные САУ.

5 По числу управляемых величин.

5.1 Одномерные системы.

5.2 Многомерные системы.

6 По принципу действия.

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

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

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

7.1 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.

7.2 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. 3 Лекция №3 (2 часа).

Тема: «Классификация технических средств автоматики»

1.3.1 Вопросы лекции:

1. Классификация технических средств автоматики

1.3.2 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 (программированные) технические средства автоматизации:

1) Коммутированные средства автоматизации

- Регуляторы
- Релейные схемы

2) Программированные средства автоматизации

- ADSP процессоры
- ПЛК
- ПКК
- 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.

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

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

• 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 ПКК 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.

1. 4 Лекция №4 (2 часа).

Тема: «Классификация датчиков»

1.4.1 Вопросы лекции:

1.Классификация датчиков

1.4.2 Краткое содержание вопросов:

1.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 др.

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 °С. 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 °С. 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 °С составляет $(2...8) \cdot 10^{-2} (^\circ\text{C})^{-1}$, 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 °С.

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 цветовые.

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. 5 Лекция №5 (2 часа).

Тема: «Логические и цифровые элементы и микроконтроллеры автоматики»

1.5.1 Вопросы лекции:

1. Логические и цифровые элементы и микроконтроллеры автоматики.

1.5.2 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 хранимая 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 ограничивают 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).

1. 6 Лекция №6 (2 часа).

Тема: «Регуляторы. П-, И-, -законы регулирования»

1.6.1 Вопросы лекции:

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

1.6.2 Краткое содержание вопросов:

1.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.

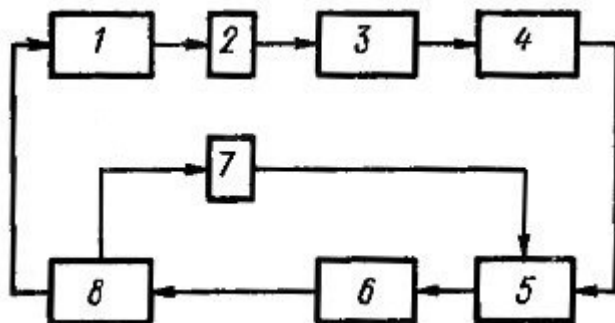


Рис. 1. Функциональная схема автоматического регулирования температуры

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.

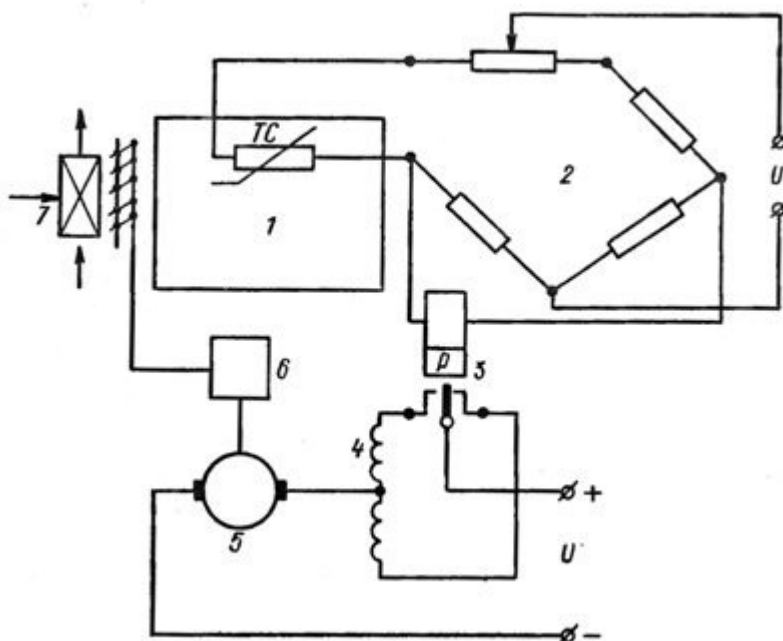


Рис. 2. Принципиальная схема двухпозиционного регулирования температуры воздуха: 1 - объект регулирования, 2 - измерительный мост, 3 - поляризованное реле, 4 - обмотки возбуждения электродвигателя, 5 - якорь электродвигателя, 6 - редуктор, 7 - калориф.

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.

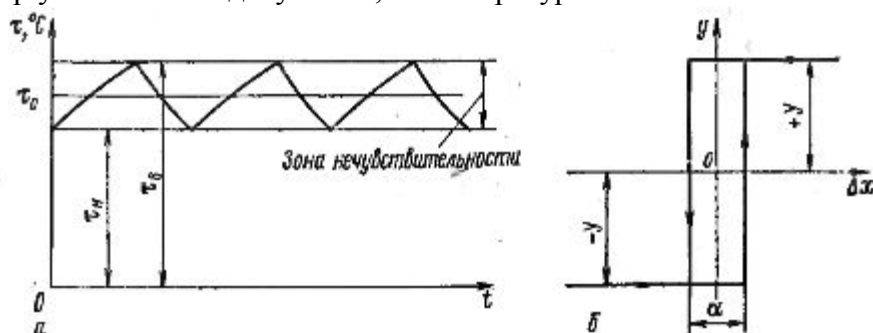


Рис. 3. Временная характеристика двухпозиционного регулирования (а) и статическая характеристика двухпозиционного регулятора (б).

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 $t_n = t_v$. 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 t_n мгновенно изменяется подача тепла, однако из-за запаздывания температура некоторое время продолжает снижаться. Затем она повышается до значения t_v , 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.

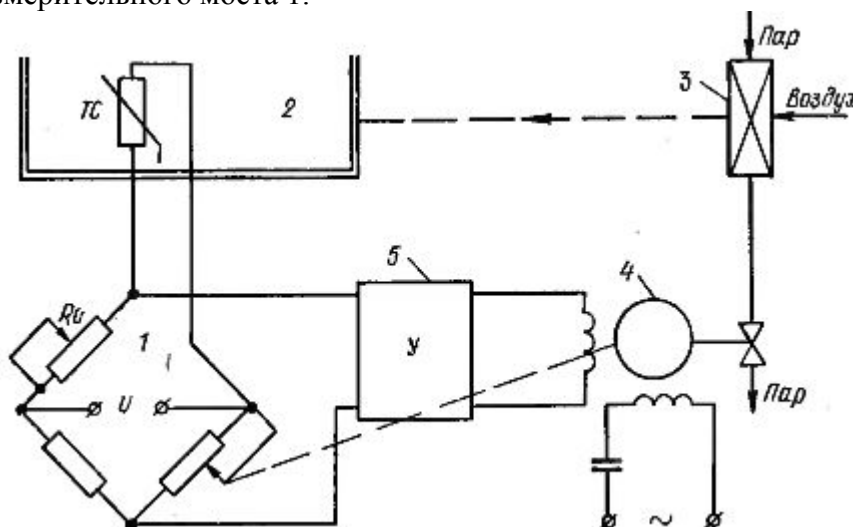


Рис. 4. Схема пропорционального регулирования температуры воздуха: 1 - измерительный мост, 2 - объект регулирования, 3 - теплообменник, 4 - конденсаторный двигатель, 5 - фазочувствительный усилитель.

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 .

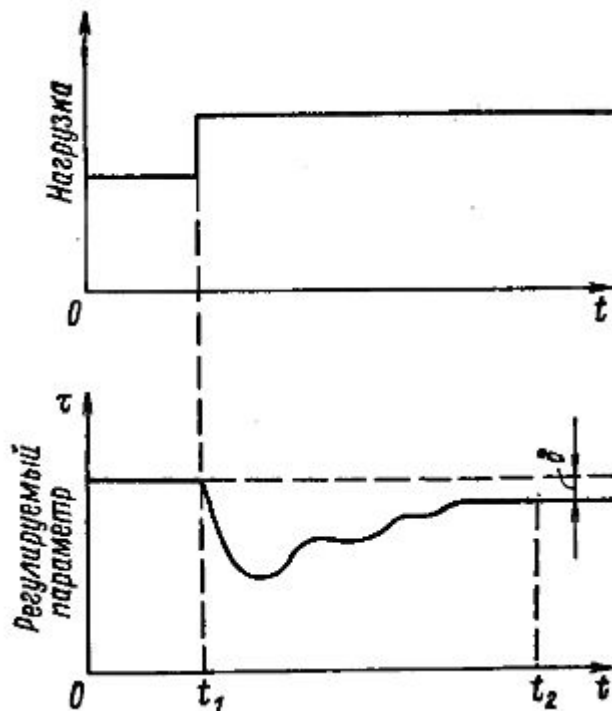


Рис. 5. Временные характеристики пропорционального регулирования

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.

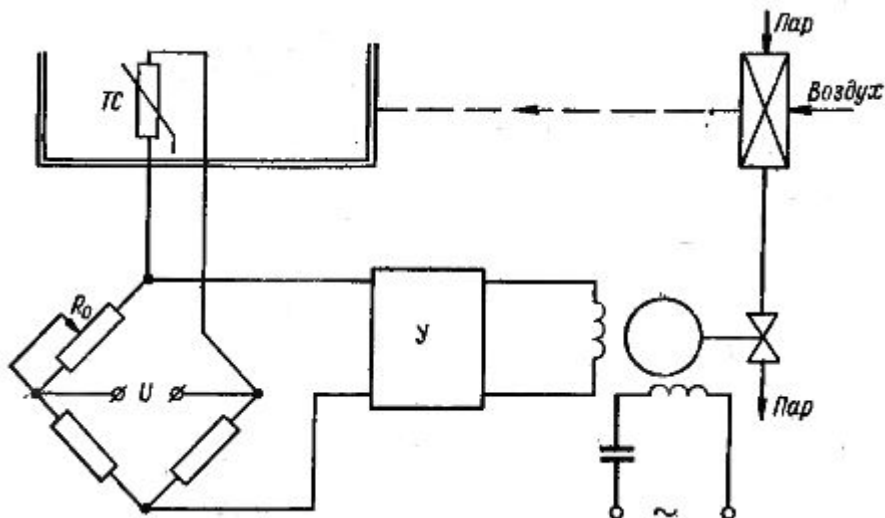


Рис. 6. Схема интегрального регулирования температуры воздуха

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.

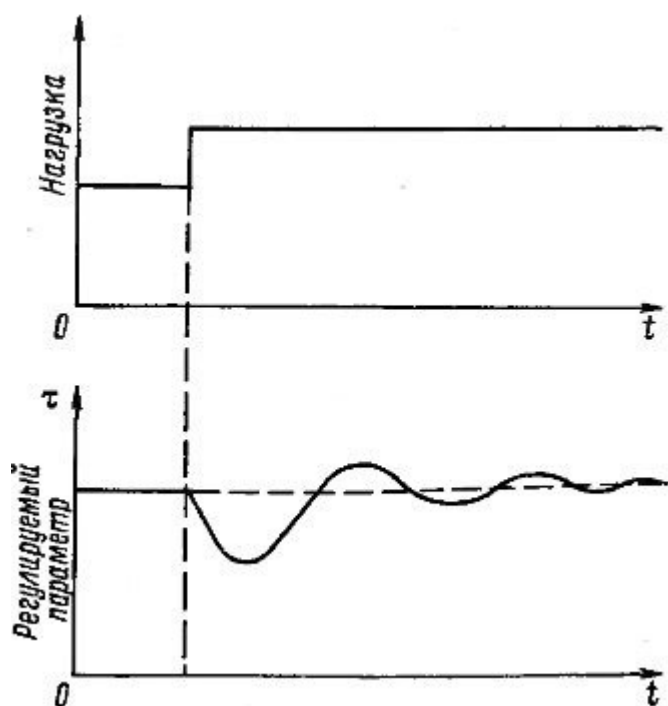


Рис. 7. Временные характеристики интегрального регулирования

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:

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

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:

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

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

где k_p – коэффициент передачи И-регулятора

T_i – постоянная времени интегрирования И-регулятора

1. 7 Лекция №7 (2 часа).

Тема: «Регуляторы. ПИ- и ПИД -законы регулирования»

1.7.1 Вопросы лекции:

1.Регуляторы. ПИ- и ПИД -законы регулирования

1.7.2 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).

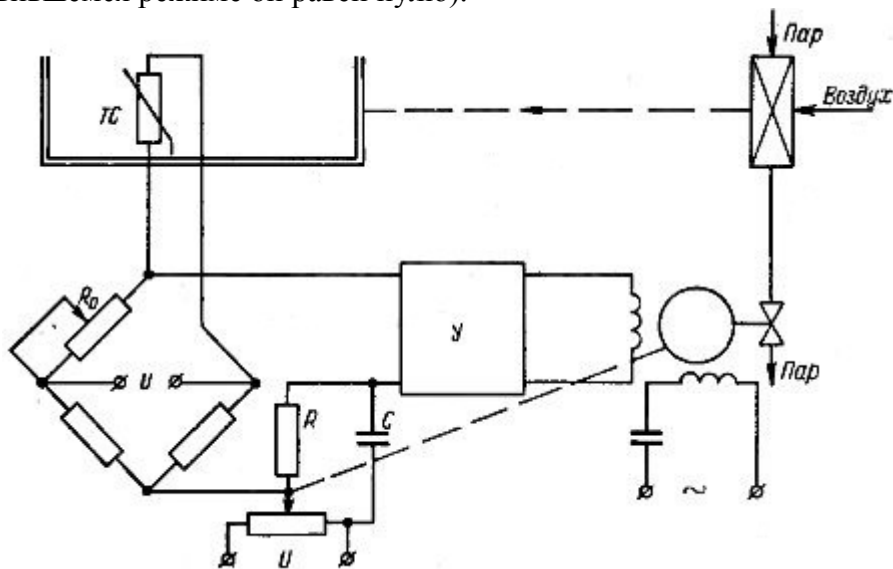


Рис. 8. Схема изодромного регулирования температуры воздуха

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, изотермное - 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:

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

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

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.

1. 8 Лекция №8(2 часа).

Тема: «Преобразование структурных схем САУ»

1.8.1 Вопросы лекции:

1.Преобразование структурных схем САУ

1.8.2 Краткое содержание вопросов:

1.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

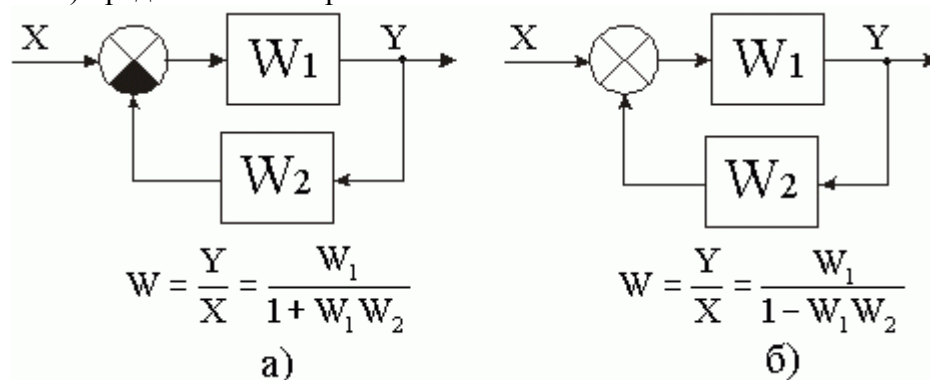


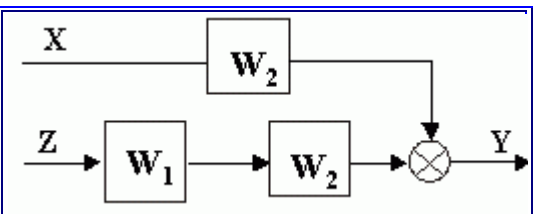
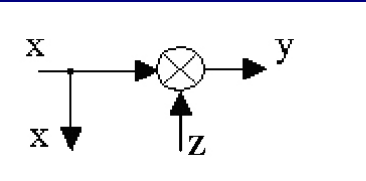
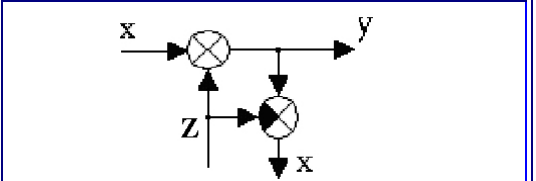
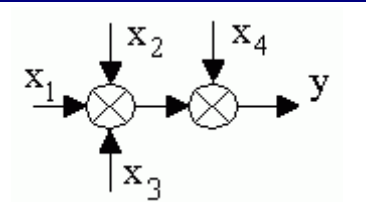
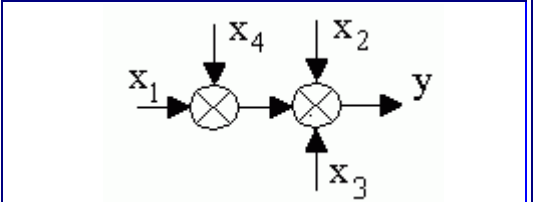
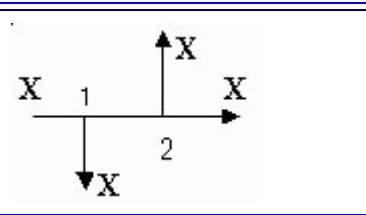
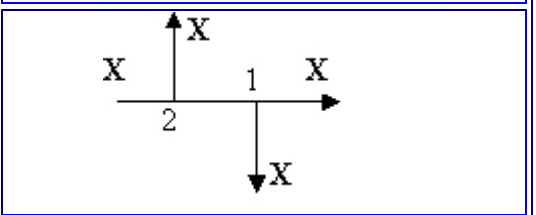
Рис. 1. Правила структурных преобразований при наличии обратных связей: а - положительная, б - отрицательная.

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		

		
Перемена мест узла и сумматора		
Перенос сумматора через сумматор		
Перенос узла через узел		

1. 9 Лекция №9 (2 часа).

Тема: «Необходимые и достаточные условия устойчивости линейных САУ»

1.9.1 Вопросы лекции:

1. Необходимые и достаточные условия устойчивости линейных САУ

1.9.2 Краткое содержание вопросов:

1. Необходимые и достаточные условия устойчивости линейных САУ

На любую систему автоматического управления всегда действуют различные внешние возмущающие воздействия, которые могут нарушать ее нормальную работу. Устойчивость является одним из основных требований, предъявляемых к САУ. Неустойчивые системы не работоспособны. Поэтому важно уметь определять и соответствующим выбором структуры и параметров системы обеспечивать ее устойчивость.

В простейшем случае понятие устойчивости связано со способностью системы возвращаться в состояние равновесия после исчезновения внешних сил, которые вывели ее из этого состояния. Если система неустойчива, то она не возвращается в состояние равновесия, из которого ее вывели, она либо удаляется от него, либо совершает вокруг него недопустимо большие колебания. Наглядно устойчивость равновесия может быть представлена следующим образом. Рассмотрим некоторую вогнутую поверхность, в которой расположен шар (рис.1).

Положение равновесия шара характеризуется точкой A_0 . При всяком отклонении шара от положения равновесия, например в точку A_1 , он будет стремиться снова возвратиться к положению равновесия – в точку A_0 (при отсутствии сил трения). Такое положение равновесия устойчиво. Случай, изображенный на рисунке 2 соответствует неустойчивому положению равновесия.

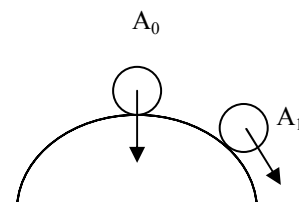
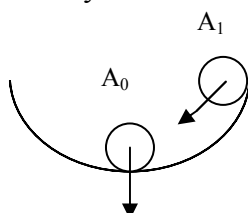


Рисунок 1

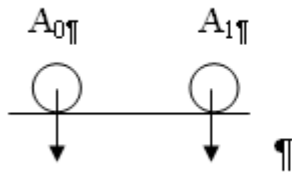


Рисунок 2

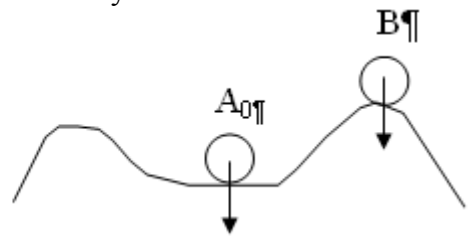


Рисунок 3

Рисунок 4

Рисунок 3 соответствует безразличному равновесию. На рисунке 4 состояние равновесия устойчиво лишь до тех пор. Пока отклонение не вышло за некоторую границу, определяемую например точкой В. Выйдя за эту границу, шар уже не вернется в точку A_0 , а будет двигаться вправо от точки В либо все время удаляясь, либо до нового состояния равновесия в зависимости от формы поверхности.

Для того чтобы дать определение устойчивости равновесия, вводят понятие о невозмущенном состоянии равновесия, соответствующем состоянию покоя в точке A_0 и возмущенном состоянии, соответствующем например точке A_1 , в которую внешняя сила привела шар и затем прекратила свое действие. Система будет устойчивой, если из возмущенного состояния она перейдет в некоторую заданную область, окружающую невозмущенное состояние равновесия.

В рассмотренном выше примере с шаром вопрос об устойчивости решается довольно просто. Однако следует заметить, что в общем случае далеко не всегда ясно, при каких условиях равновесное положение системы будет устойчивым.

Понятие устойчивости распространяют и на более общий случай, когда в качестве невозмущенного состояния рассматривают не положение равновесия системы, а ее движение, например, движение системы по некоторой заданной траектории, такое движение называют – невозмущенное движение.

Невозмущенное движение – это заданное движение системы при определенных начальных условиях.

Вследствие различных возмущающих воздействий, действующих на систему, фактическое движение будет отличаться от требуемого (заданного) невозмущенного движения.

В нормально функционирующей системе это отличие, т.е. отклонение фактического движения от невозмущенного, должно быть небольшим. Действительное (фактическое) движение системы называют возмущенным движением.

Пусть заданное невозмущенное движение системы при отсутствии возмущений определяется некоторым законом изменения независимых координат $y'_1(t)$, $y'_2(t)$, ..., $y'_n(t)$.

Пусть действительное возмущенное движение системы определяется независимыми координатами $y_1(t)$, $y_2(t)$, ..., $y_n(t)$.

В общем случае

$$y_1(t) \neq y'_1(t), y_2(t) \neq y'_2(t), \dots, y_n(t) \neq y'_n(t).$$

Заданное невозмущенное движение будет устойчивым, если после приложения внешних сил (возмущений), которые затем снимают, возмущенное движение по истечении некоторого времени войдет в заданную область $|y_i(t) - y'_i(t)| \leq \varepsilon_i$, где $\varepsilon_i = \text{const}$ – заданные величины, $i=1,2,\dots,n$

Характеристическое уравнение

Устойчивость линейной системы, т.е. выполнение условия, зависит от ее характеристического уравнения

$$a_0 \lambda^n + a_1 \lambda^{n-1} + \dots + a_n = 0 \quad (1)$$

Левая часть характеристического уравнения называется характеристическим

полиномом. При $W(s) = \frac{P(s)}{Q(s)}$ характеристический полином системы совпадает с собственным оператором системы и знаменателем ее передаточной функции.

Характеристический полином замкнутой системы (с единичной отрицательной обратной связью) равен сумме полиномов числителя и знаменателя $P(s) + Q(s)$ передаточной функции $W(s)$ разомкнутой системы.

Необходимое и достаточное условие устойчивости

Для того чтобы линейная непрерывная система была устойчива необходимо и достаточно, чтобы все корни ее характеристического уравнения имели отрицательные вещественные части: $\operatorname{Re} \lambda_i < 0$.

Решение характеристического уравнения степени n содержит n корней. Корни характеристического уравнения могут быть вещественными, комплексными попарно сопряженными, мнимыми, нулевыми. В общем случае

$$\lambda_i = \alpha_i + j\beta_i$$

Корни характеристического уравнения, как и всякие комплексные числа можно изобразить в виде точек на комплексной плоскости λ , откладывая по оси абсцисс $\operatorname{Re} \lambda$, а по оси ординат $\operatorname{Im} \lambda$ мнимую часть.

Возможны такие комбинации корней:

$$\lambda_1 = \alpha_1;$$

$$\lambda_2 = \alpha_2 + j\beta_2$$

$$\lambda_3 = \alpha_2 - j\beta_2$$

$$\lambda_4 = 0$$

$$\lambda_5 = -\alpha_5$$

$$\lambda_6 = -\alpha_6 + j\beta_6$$

$$\lambda_7 = -\alpha_6 - j\beta_6$$

Если все корни разные, то их называют простыми. Если среди корней есть одинаковые, то их называют кратными.

Обычно корни с отрицательными вещественными частями принято называть левыми, поскольку они в комплексной плоскости корней расположены слева от мнимой оси, а корни с положительными вещественными частями – правыми корнями.

Таким образом, условие устойчивости можно сформулировать следующим образом:

Для того чтобы линейная непрерывная система была устойчива необходимо и достаточно, чтобы все корни ее характеристического уравнения были левыми, т.е. располагались в левой полуплоскости.

Критерии устойчивости – это критерии, которые позволяют по виду характеристического уравнения или по виду частотных характеристик, судить об устойчивости системы не решая дифференциальных уравнений.

Критерии устойчивости делятся на алгебраические и частотные.

1. 10 Лекция №10(2 часа).

Тема: «Алгебраические и частотные критерии устойчивости»

1.10.1 Вопросы лекции:

1.Алгебраические и частотные критерии устойчивости

1.10.2 Краткое содержание вопросов:

1.Алгебраические и частотные критерии устойчивости

Понятие устойчивости является важнейшей качественной оценкой динамических свойств САР. Под устойчивостью понимают способность системы восстанавливать исходное состояние равновесия после снятия внешнего возмущения.

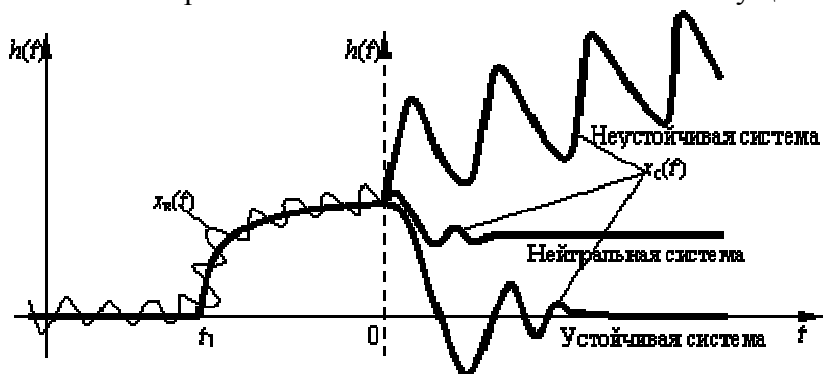


Рисунок 2. Устойчивость систем: t_1 – время внесения возмущения;

$x_{\text{в}}(t)$ – вынужденное движение системы;

$x_{\text{с}}(t)$ – свободное движение системы

Различают три типа систем:

- 1) устойчивые системы, которые, будучи выведены из состояния равновесия каким-либо внешним возмущением, после снятия этого возмущения возвращаются в исходное состояние равновесия;
- 2) нейтральные системы, которые после снятия возмущения приходят в состояние равновесия, отличное от исходного;
- 3) неустойчивые системы, в которых не устанавливается равновесия после снятия возмущения.

Пусть система находилась в равновесии (см. рис. 2). В момент времени t_1 под действием внешнего возмущения система была выведена из этого состояния. Движение системы под действием возмущения называют вынужденным $x_{\text{в}}(t)$. Затем, в некоторый момент времени $t = 0$ (принятое за начало отсчета), возмущение было снято или скомпенсировано. Начинается свободное движение системы $x_{\text{с}}(t)$. Переходный процесс $h(t) = x_{\text{в}}(t) + x_{\text{с}}(t)$. Причем, если $\lim_{t \rightarrow \infty} x_{\text{с}}(t) = 0$ – система устойчивая, $\lim_{t \rightarrow \infty} x_{\text{с}}(t) = \text{const}$ – система нейтральная, $\lim_{t \rightarrow \infty} x_{\text{с}}(t) = \infty$ – система неустойчивая.

С целью упрощения анализа устойчивости систем разработан ряд специальных методов, которые получили название критериев устойчивости. Критерии устойчивости делятся на две разновидности: алгебраические и частотные. Алгебраические критерии являются аналитическими, а частотные – графоаналитическими. Но все они базируются на критерии Ляпунова.

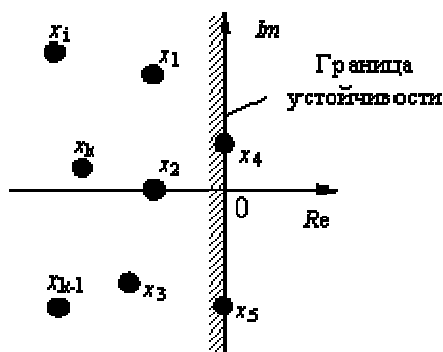


Рисунок 3. К критерию Ляпунова: x_i – корни характеристического уравнения

Критерий Ляпунова. Необходимым и достаточным условием устойчивости линейной системы является условие, когда все вещественные корни характеристического уравнения системы, а также действительные части комплексных корней, отрицательны. Если один из корней положителен – система неустойчива; если равен 0 – система находится на границе устойчивости (рис. 3). Мнимая ось является границей устойчивости.

Однако пользоваться этим условием на практике для оценки устойчивости реальных систем оказывается достаточно сложно, так как реальные промышленные системы описываются дифференциальными уравнениями высокого порядка, или содержат звенья чистого запаздывания, так что нахождение корней характеристического уравнения представляет трудную задачу.

Для таких систем применяются следующие критерии устойчивости: алгебраический критерий Рауса-Гурвица; частотный критерий Михайлова; амплитудно-фазо- частотный критерий Найквиста.

Алгебраический критерий устойчивости (Критерий Рауса-Гурвица) является наиболее распространенным алгебраическим критерием и применяется для определения устойчивости системы, когда известно характеристическое уравнение. Характеристическое уравнение – знаменатель передаточной функции.

Формулировка критерия. Необходимое условие устойчивости линейной системы – все коэффициенты характеристического уравнения положительны; достаточное условие устойчивости линейной системы – все определители, составленные из коэффициентов характеристического уравнения, положительны. Если хотя бы один из определителей равен 0 – система находится на границе устойчивости. Если какой-либо из определителей меньше 0 – система не устойчива.

Пусть характеристическое уравнение системы имеет вид

$$A_0 p^n + A_1 p^{n-1} + \dots + A_{n-1} p + A_n = 0.$$

Необходимое условие устойчивости: $A_0 > 0, A_1 > 0, \dots, A_{n-1} > 0, A_n > 0$. Достаточное условие устойчивости:

$$\Delta_1 = A_1 > 0; \Delta_2 = \begin{vmatrix} A_1 & A_3 \\ A_0 & A_2 \end{vmatrix} > 0; \Delta_3 = \begin{vmatrix} A_1 & A_3 & A_5 \\ A_0 & A_2 & A_4 \\ 0 & A_1 & A_3 \end{vmatrix} > 0; \dots; \Delta_n > 0.$$

Правило составления определителей. В главную диагональ определителя n -го порядка записываются все коэффициенты, начиная с первого. Столбцы матрицы вверх от главной диагонали заполняются коэффициентами с порядковыми номерами по возрастанию индексов, вниз – по убыванию индексов. Все элементы определителя, индексы которых больше порядка характеристического уравнения и меньше 0, заполняют нулями.

Пример. Исследовать устойчивость системы, характеристическое уравнение которого имеет вид: $3p^4 + 4p^3 + 4p^2 + 2p + 1 = 0$.

Необходимое условие устойчивости: $A_0 = 3 > 0$, $A_1 = 4 > 0$, $A_2 = -4 > 0$, $A_3 = 2 > 0$, $A_4 = 1 > 0$.

Достаточное условие устойчивости:

$$\Delta_1 = 4 > 0; \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} A_1 & A_3 \\ A_0 & A_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 4 & 2 \\ 3 & -4 \end{vmatrix} = 16 - 6 = 10 > 0;$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} A_1 & A_3 & A_5 \\ A_0 & A_2 & A_4 \\ 0 & A_1 & A_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 4 & 2 & 0 \\ 3 & -4 & 1 \\ 0 & 4 & 2 \end{vmatrix} = 32 + 0 + 0 - 0 - 12 - 16 = 4 > 0;$$

$$\Delta_4 = \begin{vmatrix} A_1 & A_3 & 0 & 0 \\ A_0 & A_2 & A_4 & 0 \\ 0 & A_1 & A_3 & 0 \\ 0 & A_0 & A_2 & A_4 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 4 & 2 & 0 & 0 \\ 3 & -4 & 1 & 0 \\ 0 & 4 & 2 & 0 \\ 0 & 3 & -4 & 1 \end{vmatrix} = 1 \cdot \Delta_3 = 4 > 0.$$

Вывод. Все условия выполнены, система устойчива.

Частотный критерий Михайлова так же, как и алгебраический критерий, применяется в тех случаях, когда задано характеристическое уравнение системы:

$$A_0 p^n + A_1 p^{n-1} + \dots + A_{n-1} p + A_n = f(p).$$

Обозначим полином, стоящий в левой части характеристического уравнения, через $D(p)$, т.е.

$$D(p) = A_0 p^n + A_1 p^{n-1} + \dots + A_{n-1} p + A_n.$$

Заменим p на $j\omega$. Получим вектор характеристического полинома:

$$\begin{aligned} D(j\omega) &= A_0 (j\omega)^n + A_1 (j\omega)^{n-1} + \dots + A_{n-1} (j\omega) + A_n = \\ &= \operatorname{Re}(D(j\omega)) + j \operatorname{Im}(D(j\omega)). \end{aligned}$$

При изменении ω от 0 до ∞ вектор $D(j\omega)$ опишет кривую, называемую годограф Михайлова.

Формулировка критерия. Система устойчива, если годограф Михайлова при изменении частоты от 0 до ∞ начинается на положительной части действительной оси комплексной плоскости, проходит последовательно против часовой стрелки n квадрантов плоскости, нигде не обращается в 0 и не проходит через начало координат (n – порядок характеристического уравнения системы). Если годограф проходит через начало координат комплексной плоскости, то система находится на границе устойчивости, если нарушается, хотя бы одно из условий критерия – система неустойчива. На рис. 4 приведены примеры годографов Михайлова $D(j\omega)$.

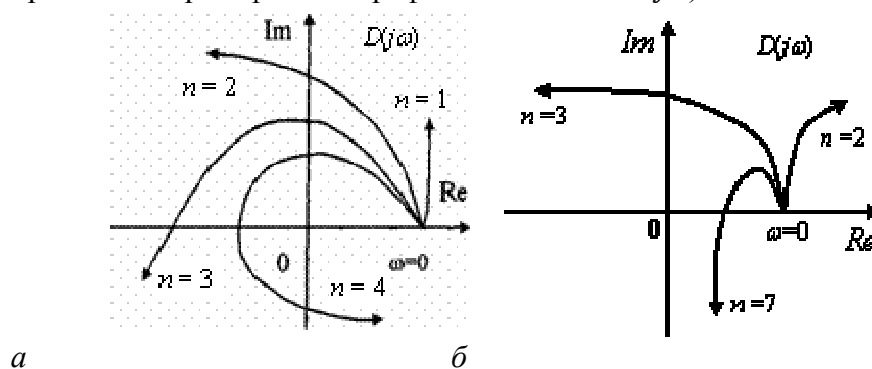


Рисунок 4. Годограф Михайлова: *а* - системы устойчивые; *б* - системы неустойчивые

Пример. Определить устойчивость системы, характеристический полином которой имеет вид: $D(p) = 2p^3 + 9p^2 + 13p + 6$.

Заменяем p на jw , избавляемся от старших степеней j и группируем слагаемые, содержащие и не содержащие j :

$$D(jw) = 2(jw)^3 + 9(jw)^2 + 13(jw) + 6 = -2jw^3 - 9w^2 + 13jw + 6 = (6 - 9w^2) + j(13w - 2w^3).$$

Выделяем действительную и мнимую части: $Re(w) = 6 - 9w^2$; $Im(w) = 13w - 2w^3$.

Задавая значения частоты из интервала $[0; \infty)$, строим годограф Михайлова (рис. 5):

1) $w = 0, Re = 6, Im = 0$ – годограф начинается на положительной части действительной оси Re ;

$$2) \quad Re = 0 \Rightarrow 6 - 9w^2 = 0 \Rightarrow w = \sqrt{0,67} = 0,82$$

$Im|_{w=0,82} = 13 \cdot 0,82 - 2 \cdot 0,82^3 = 9,2 > 0$ – годограф начинает поворачиваться против часовой стрелки и пересекает мнимую ось Im ;

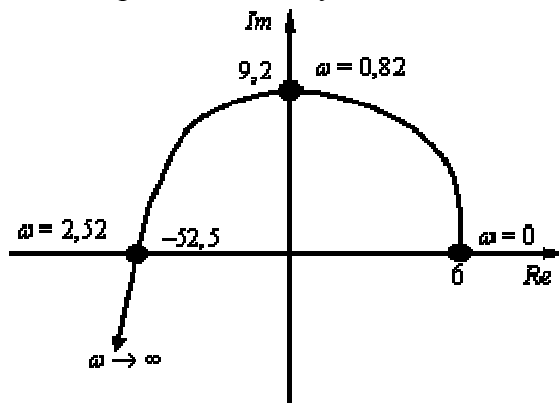


Рисунок 5. Построение годографа Михайлова

3)

$Im = 0 \Rightarrow 13w - 2w^3 = 0$; $w \times (13 - 2w^2) = 0$; $w_1 = 0$; $w_{2,3} = \sqrt{6,5} = \pm 2,52$; при $w = 2,52$ $Re = 6 - 9 \times 2,52^2 = -52,2 < 0$ – годограф продолжает поворачиваться против часовой стрелки, пересекает действительную ось Re , проходит 3 квадранта и при $w \rightarrow \infty$ остается в третьем квадранте, что соответствует порядку характеристического полинома, т.е. $w \rightarrow \infty, Re \rightarrow -\infty, Im \rightarrow -\infty$.

Вывод. Все условия критерия Михайлова соблюдены, система устойчива.

Амплитудно-фазовый критерий Найквиста служит для определения устойчивости замкнутой системы, охваченной отрицательной статической обратной связью, по АФЧХ разомкнутой системы (рис. 6).

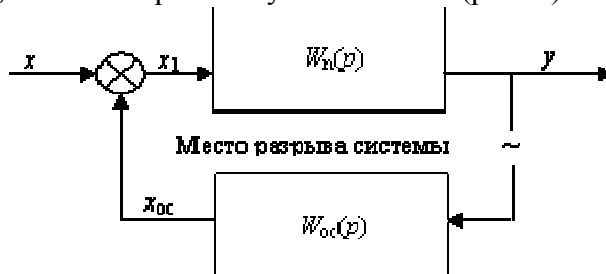


Рисунок 6. Преобразование замкнутой системы в разомкнутую

Статическая отрицательная обратная связь имеет передаточную функцию $W_{oc} = -1$.

Формулировка критерия. Замкнутая система устойчива, если разомкнутая система устойчива, и ее амплитудно-фазовая частотная характеристика не охватывает на комплексной плоскости точку с координатами $(-1; j0)$. Если АФЧХ проходит через эту

точку, то система находится на границе устойчивости, если охватывает — система неустойчивая (рис. 7).

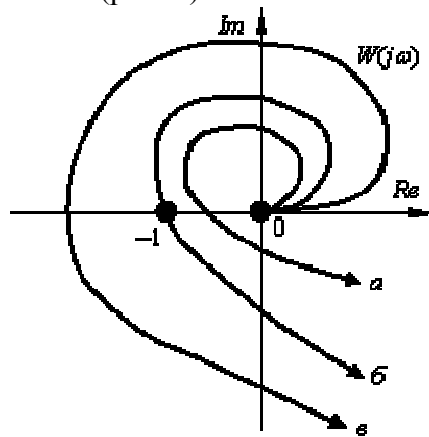


Рисунок 7. Амплитудно-фазовый критерий Найквиста: а — система устойчива; б — система находится на границе устойчивости; в — система неустойчива

У астатических разомкнутых систем, которые содержат интегрирующие звенья, амплитудно-фазовой частотной характеристики не образуют замкнутого контура. При частоте $\omega = 0$ частотная передаточная функция астатической системы обращается в ∞ , а ее амплитудно-фазовая частотная характеристика претерпевает разрыв. Поэтому в этом случае трудно решить вопрос об устойчивости замкнутой системы, так как неясно, охватывает ли амплитудно-фазовая частотная характеристика $W(j\omega)$ точку $(-1; j0)$.

Для определения устойчивости систем с астатизмом любого порядка n достаточно построить одну ветвь амплитудно-фазовой частотной характеристики разомкнутой системы, соответствующую положительным частотам. Дополнить ее дугой $-\nu\pi/2$ окружности бесконечно большого радиуса, чтобы замкнуть АФЧХ на действительную ось. Затем применить критерий устойчивости Найквиста.

На рис. 8 приведена характеристика разомкнутой системы с астатизмом второго порядка $n = 2$. Замкнутая система в этом случае будет неустойчива, так как АФЧХ, дополненная дугой $-\nu\pi/2 = -\pi$ бесконечно большого радиуса, всегда охватывает точку с координатой $(-1; j0)$ в отрицательном направлении (по часовой стрелке).

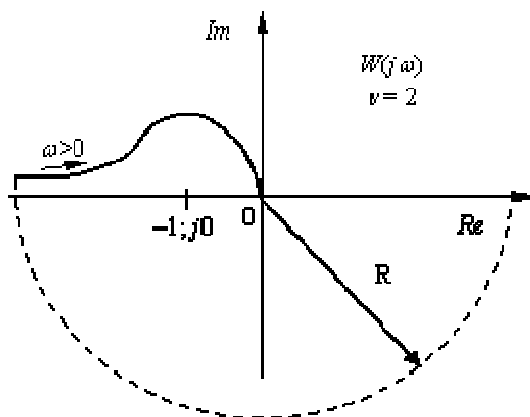


Рисунок 8. Амплитудно-фазо-частотная характеристика разомкнутой системы с астатизмом второго порядка $\nu = 2$

Удаление АФЧХ разомкнутой системы $W(j\omega)$ от точки $(-1; j0)$ определяет запас устойчивости, который характеризуется двумя величинами: запасом устойчивости по фазе и запасом устойчивости по амплитуде.

Запас устойчивости по фазе определяют как величину угла $\varphi = p - (\gamma(\omega_c))$ для частоты ω_c , при которой $|W(j\omega_c)| = 1$; запас устойчивости по амплитуде определяется как величину отрезка оси абсцисс h , заключенного между критической точкой $(-1; j0)$ и АФЧХ (рис. 9).

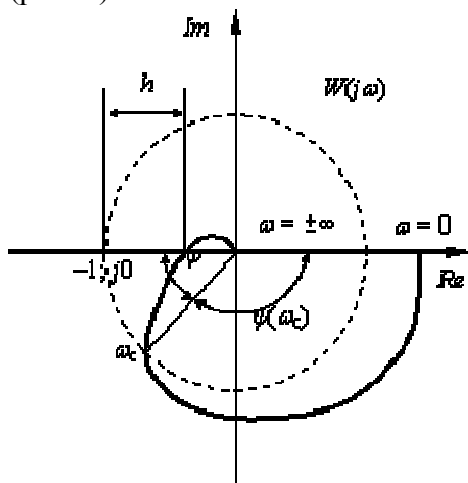


Рисунок 9. Определение запаса устойчивости по АФЧХ разомкнутой

1. 11 Лекция №11(2 часа).

Тема: «Точность работы САР»

1.11.1 Вопросы лекции:

1. Точность работы САР

1.11.2 Краткое содержание вопросов:

1. Точность работы САР

Качество линейных САР принято характеризовать точностью и быстродействием их работы в переходном и установившемся режимах.

И переходный, и установившийся режимы работы линейной системы могут существовать при подаче изменяющихся воздействий на систему. Отличие заключается в том, что в переходном режиме либо само воздействие, либо некоторые его младшие производные содержат ступенчатые изменения. Некоторое время после скачка величины воздействия или его производной, в системе происходит переходный процесс, а затем, по его окончании система функционирует в установившемся режиме до появления новых скачков воздействий и их производных или до коммутаций, изменяющих структуру схемы.

Качество САР в переходном режиме характеризуется [1] параметрами переходной функции. Переходную функцию модели - реакцию системы на ступенчатое единичное воздействие несложно построить для модели в любой моделирующей программе. Остается только определить время регулирования и перерегулирование, характеризующие в первом приближении быстродействие и точность САР.

Качество САР в установившемся режиме принято характеризовать коэффициентами ошибок [2]. Коэффициенты ошибок можно определить как коэффициенты разложения в ряд Тейлора передаточной функции САР $\Phi_e(s)$ по ошибке, обусловленной воздействием:

(1)

$$\Phi_e(s) = \frac{E(s)}{X(s)} = \Phi_e(0) + \frac{\Phi_e'(s)|_{s=0}}{1!} s + \frac{\Phi_e''(s)|_{s=0}}{2!} s^2 + \dots = c_0 + c_1 s + \frac{c_2}{2} s^2 + \dots$$

где: c_0 - коэффициент ошибки по положению; c_1 - коэффициент ошибки по скорости; c_2 - коэффициент ошибки по ускорению.

Тогда, очевидно, поведение ошибки регулирования во времени может быть представлено рядом:

(2)

$$e(t) = c_0 x(t) + c_1 x'(t) + c_2 x''(t) / 2 + \dots$$

Из (2) следует, что при заданной допустимой максимальной ошибке регулирования e_m , с привлечением принципа равных влияний, коэффициенты определяют:

- X_m - максимально допустимые отклонения сигнала задания, поступающего на САР, при которых САР обеспечивает требуемую точность слежения: $X_m < e_m / (3c_0)$;
- $\max(dx/dt)$ - максимальную скорость изменения сигнала задания: $\max(dx/dt) < e_m / (3c_1)$;
- $\max(d^2x/dt^2)$ - максимально допустимое ускорение задающего сигнала: $\max(d^2x/dt^2) < 2e_m / (3c_2)$.

Таким образом, коэффициенты c_0 , c_1 и c_2 определяют как точность, так и быстродействие системы в установившемся режиме.

Традиционно коэффициенты ошибок находятся путем разложения передаточной функции САР в ряд Лорана (делением числителя передаточной функции на ее знаменатель). В моделирующих программах весьма просто получить отклик САР на степенное воздействие произвольного порядка, а путем несложного анализа изменения ошибок регулирования во времени можно получить и значения коэффициентов ошибок.

Определение коэффициентов ошибок регулирования, которое проиллюстрируем на примере применения программы VisSim, целесообразно проводить в следующем порядке.

Определение коэффициента ошибки по положению c_0 :

1. Построить модель главного контура САР (transferFunction + summingJunction + gain), подключить на ее вход генератор ступенчатого сигнала (step), а выход сумматора контура главной обратной связи подключить к осциллографу (plot).

2. Запустить процесс моделирования.

Установившееся значение выходного сигнала сумматора главного контура обратной связи и есть коэффициент ошибки по положению c_0 . Действительно, при t стремящемся к ∞ , т.е. по окончании переходных процессов, входной сигнал $x(t) = 1$, а его производные $x'(t) = 0$ и $x''(t) = 0$. Поэтому, как следует из (2), $e(t) = c_0$. Статические системы хорошего качества имеют коэффициент c_0 в пределах 0,01..0,1. У астатических систем, имеющих интеграторы в контуре, коэффициент c_0 равен нулю

1. 12 Лекция №12 (2 часа).

Тема: «Производственный процесс и его автоматизация»

1.12.1 Вопросы лекции:

1. Производственный процесс и его автоматизация

1.12.2 Краткое содержание вопросов:

1. Производственный процесс и его автоматизация

Автоматизация процессов производства на предприятии представляет собой самостоятельную комплексную проблему. К ее решению подталкивает всеяющая страх мировая конкуренция, которая как удав сжимает предприятия, понуждая их принимать соответствующие меры. Автоматизация создает возможности для улучшения условий и подъема производительности труда, роста качества продукции, сокращения потребности в рабочей силе и в систематическом повышении прибыли, что позволяет изменить

тенденцию развития, сохранить старые и завоевать новые рынки и таким образом вырваться из объятий удава.

Без сомнения автоматизация не является новым направлением, в широком смысле этого слова, ее появление относится ко времени промышленной революции. Тогда машины значительно повысили производительность труда рабочих. Развитие автоматизации характеризуется рядом крупных достижений. Одним из первых было внедрение взаимозаменяемости в производстве, следующим — сборочные конвейеры Генри Форда. Подлинную революцию в автоматизации производства произвели промышленные роботы и персональные компьютеры.

Конечно, автоматизация не единственный способ выйти победителем в конкурентной борьбе. Большие возможности таятся в стимулирующей роли заработной платы. Другим оружием в этой борьбе является участие рабочих в управлении производством и повышении качества продукции. Уместно напомнить здесь японские «кружки качества», которые распространились по всему миру и затрагивают теперь не только вопросы качества, но и снижения стоимости выпускаемой продукции, обеспечения техники безопасности и другие направления. Программа автоматизации производства является доминирующим средством в достижении успеха в условиях глобализации международных экономических отношений.

На пути автоматизации стоят неблагоприятные аспекты и подводные камни, которые необходимо учитывать. Прежде всего, нужно уяснить, что заниматься проблемами автоматизации нельзя без предварительной подготовки изделий, технологии и в целом предприятия. Тщательная проработка конструкции изделия, оценка стабильности технологии и надежности, имеющегося на производстве парка оборудования позволяет извлечь наибольшую пользу от применения в производстве промышленных роботов. Предварительная проработка конструкции, анализ и совершенствование изделия и процесса могут быть настолько эффективными, что, в конечном счете, позволяют исключить необходимость применения роботов или другого автоматизированного оборудования

Уровни автоматизации

Уровень и способы автоматизации зависят от состава рабочих мест, оснащенности их техническими средствами и серийности выпускаемой продукции. Условно все рабочие места можно разделить на три группы.

К первой группе относятся рабочие места, на которых выполняются работы вручную, а рабочие, занятые при машинах и механизмах, выполняют только функции по обслуживанию машин и механизмов. В этой группе объединяются рабочие, которые не ведут технологические процессы, а занятые постоянно только загрузкой и выгрузкой предметами труда машин и механизмов.

Сюда относятся профессии аккумуляторщиков, такелажников, другие профессии рабочих, выполняющих работу вручную более 50% времени, а также рабочие, выполняющие работу при помощи простейших инструментов, наладчики, слесари и ремонтники.

Ко второй группе относятся рабочие места, на которых выполняются работы механизированным способом при помощи машин, станков и механизмов. К рабочим выполняющим работу механизированным способом относятся, работающие при помощи машин и механизмов, аппаратов и механизированных инструментов, приводимых в действие паром, электрическими, пневматическими, гидравлическими и т.п. приводами, а также осуществляющие наблюдение за действием машин и механизмов.

В этом случае рабочие выполняют работу на оборудовании (включая аппаратные процессы с ручным управлением цикла обработки) с помощью исполнительских механизмов. При непосредственном участии (включая управление исполнительным механизмом) рабочего осуществляется выполнение всех переходов (операций) по воздействию на предмет труда. Кроме этого сюда относятся операции по перемещению

исполнительного механизма к предмету труда или наоборот, перемещение предмета труда к механизму с приложением физического усилия (например, ручной подвод исполнительного механизма к обрабатываемому предмету, обработка с ручной подачей и т.д.); управление исполнительным механизмом оборудования без непосредственного приложения физических усилий для изменения формы или размера, обрабатываемого предмета труда (например, обработка деталей инструментом с самоходной подачей суппорта к предмету труда);

При этом уровне механизации выполняется также настройка оборудования, изделий или приборов, при помощи электронных и радиоизмерительных приборов, установок, стендов. Как правило, это рабочие, занятые загрузкой (выгрузкой) вручную или с помощью простейших механизмов (пинцет, присоска и т.д.) оборудования и машин. Они производят дальнейшую технологическую обработку изделий (разварку, посадку, сборку, герметизацию, травление, измерение и т.д.) Выполнение технологической операции в этом случае производится при воздействии рабочего любой профессии на соответствующие механизмы управления машин, станков или оборудования.

На этом уровне механизации заняты рабочие таких профессий как аппаратчики всех профилей, водители, машинисты, станочники и операторы всех специальностей, занятые загрузкой оборудования вручную, гальваники, испытатели, измерители, кладовщики на комплексно-механизированных складах, лаборанты, занятые работой на оборудовании, контролеры на испытательных операциях, электромонтеры по обслуживанию оборудования и другие.

К третьей группе относятся рабочие места, на которых технологические операции выполняются в автоматическом режиме. Автоматизация процессов производства имеет целью исключить последовательно различные функции, выполняемые рабочими из первой и второй групп. Различают пять уровней автоматизации.

Первый уровень автоматизации характеризуется тем, что автоматизируется цикл обработки изделия. В автоматическом режиме осуществляется управление последовательностью и характером движений рабочего инструмента для получения заданной формы, размеров и качественных характеристик обрабатываемой детали. Наиболее полное воплощение автоматизация этого уровня получила в станках с числовым программным управлением (ЧПУ). При этом обеспечивается возможность оптимально осуществлять функции управления для широкой номенклатуры деталей. Значительно возрастает производительность труда по сравнению со станками, имеющими ручное управление, существенно повышается качество продукции.

В этом случае рабочие выполняют работу на оборудовании, включая аппаратные процессы с автоматическим циклом обработки, на котором без непосредственного участия человека автоматически и полуавтоматически осуществляется выполнение переходов и операций по непосредственному воздействию на предметы труда. Рабочий может осуществлять следующие действия: установку и снятие предметов труда или заполнение предметами труда и необходимыми материалами загрузочных устройств; пуск и установку оборудования; активное наблюдение за работой оборудования; контроль обработки; смену инструмента, наладку и подналадку оборудования; удаление отходов в пределах рабочего места.

Второй уровень автоматизации предполагает автоматизацию постановки и снятия деталей со станка, то есть загрузку оборудования. Это позволяет рабочему обслуживать несколько технологических единиц оборудования, таким образом перейти к многостаночному обслуживанию. В качестве загрузочных устройств широко используются промышленные роботы. Они отличаются большой универсальностью и быстротой переналадки.

Второй уровень автоматизации, как правило, обеспечивается созданием роботизированных технологических комплексов (РТК). В них робот может обслуживать как один так и группу станков или оборудования.

Третий уровень автоматизации. На этом уровне автоматизируется, ранее выполняемый рабочим вручную, контроль за состоянием инструмента и своевременной его заменой (контроль за фактическим состоянием каждого инструмента и его износом); качества обрабатываемых изделий (размеров, чистоты поверхности, а где возможно качества изделия после термических, диффузионных, химических и других процессов); за состоянием станков и оборудования, удалением стружки и других отходов производства, а также контроль и подналадку технологических процессов (адаптивное управление).

Автоматизация перечисленных операций освобождает рабочего от постоянной связи с обслуживаемой установкой и открывает возможность расширения зоны обслуживания оборудования одним человеком. Оборудование данной группы предполагает длительную его работу в автоматическом цикле при периодическом наблюдении за его работой и загрузкой, контролем точности и подналадкой. Однако работа в таком режиме требует большого запаса комплектующих и деталей для работы течение нескольких смен.

При таком уровне рабочие выполняют работу на автоматических линиях, автоматах, автоматизированных агрегатах, установках и аппаратах. К этой категории относятся также рабочие, занятые работой по управлению, контролю, периодической регулировке автоматических линий, автоматов, агрегатов, комплексов.

Как правило, к первому уровню автоматизации относятся профессии автоматчиков, станочники всех профессий на автоматических станках и станках с программным управлением, наладчики автоматических линий, операторы различных профессий, занятых обслуживанием автоматических и полуавтоматических линий, станков, установок, станков с программным управлением и им аналогичным.

Третий уровень автоматизации реализуется путем создания адаптивных роботизированных технологических комплексов (РТК), гибких производственных модулей, имеющих в своем составе, например, обрабатывающий центр, ПР, устройства контроля, диагностики и подналадки, другие вспомогательные механизмы, управляемых от одного контроллера или других управляющих устройств

Четвертый уровень автоматизации. В этом случае осуществляется автоматическая переналадка оборудования. При ручной переналадке оборудования, она занимает значительную часть рабочего времени. Чем чаще по условиям производства требуется переналадка, тем больше оказываются потери времени и уменьшается зона обслуживания одним рабочим. Естественно стремление применять такие инструмент, оснастку и приспособления, методы задания режимов обработки и циклов производства, загрузочных устройств и контрольных систем, которые способны осуществлять автоматическую переналадку оборудования.

Оборудование с автоматической переналадкой экономически выгодно при обработке любых партий деталей и целесообразно при выпуске сборочных комплектов деталей, необходимых для обеспечения ритмичной работы сборочных цехов. Оно позволяет существенно сократить объемы незавершенного производства, сократить до минимума производственный цикл изготовления изделий.

Технические трудности создания высоконадежного оборудования, средств контроля и управления, а также высокая пока стоимость всех средств автоматизации, еще сдерживают широкое использование, как в машиностроении так и в других отраслях этой наиболее высокой ступени автоматизации.

Пятый уровень автоматизации это гибкие производственные системы (ГПС). В соответствии с ГОСТ 26228-90 под ГПС понимается управляемая средствами вычислительной техники совокупность технологического оборудования, состоящего из разных сочетаний гибких производственных модулей и (или) гибких производственных ячеек, автоматизированной системы технологической подготовки производства и системы обеспечения функционирования, обладающая свойством автоматизированной

переналадки при изменении программы производства изделий, разновидности которых ограничены технологическими возможностями оборудования.

В состав ГПС входят гибкие производственные модули (ГПМ), гибкие производственные ячейки (ГПЯ) и система обеспечения функционирования гибкой производственной системы и гибкой производственной ячейки. В общем случае она обеспечивает комплексную автоматизацию всех звеньев производственного процесса включая процессы обработки и управления, подготовку производства, разработку конструкторской и технологической документации, а также планирование производства.

Гибкими производственными системами могут быть как автоматизированные предприятия и заводы-автоматы, так и их структурные составляющие: автоматизированные цехи, автоматизированные и роботизированные участки, гибкопереналаживаемые автоматизированные линии и роботизированные комплексы.

ГПС обеспечивают автоматическое производство деталей различными партиями, с уровнем себестоимости продукции и производительности близкой к достигаемой в современном массовом производстве при изготовлении деталей одного наименования.

Коэффициент уровня автоматизации труда определяется по объему затрат автоматизированного труда в общей трудоемкости предприятия. Следует отличать уровень от степени автоматизации или механизации труда, которая определяется как отношение численности рабочих, занятых автоматизированным или механизированным трудом соответственно к общей численности промышленно-производственного персонала (ППП). Степень занятости рабочих ручным трудом определяется отношением численности рабочих занятых ручным трудом к общей численности ППП.

Организация работ по автоматизации производства

Определению уровня автоматизации производства и разработке мер по ее повышению на предприятии должна предшествовать работа по паспортизации, аттестации и рационализации рабочих мест. Она должна проводиться с учетом соответствующих рекомендаций и регламентирующих общегосударственных нормативных документов и опыта передовых предприятий по данному вопросу. Паспортизации и учету подлежат места, где рабочие, заняты кроме ручного, физически тяжелого, и малоквалифицированного труда, также и зрительно-напряженными, малопривлекательными и монотонными работами.

Целью паспортизации является подготовка необходимой информации для разработки комплексной программы по механизации и автоматизации ручного труда. Она заключается в изучении занятости ручным трудом по профессиям, изыскании путей и возможности ее сокращения, в расчете показателей затрат и ожидаемого социально-экономического эффекта мероприятий, а также в определении потребности на эти цели в оборудовании, комплектующих изделиях, проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

В порядке подготовки к этой работе на предприятии разрабатываются методические рекомендации и указания по проведению аттестации, изготавливаются необходимые бланки актов аттестации, карт учета ручного труда, образуются аттестационные комиссии, проводится другая организационная и разъяснительная работа. Все подготовительные меры находят отражение в приказе директора предприятия о проведении аттестации рабочих мест.

В процессе аттестации проводится комплексная оценка каждого рабочего места на его соответствие нормативным требованиям и передовому опыту по таким направлениям как технико-экономический; организационно-экономический уровень; условия труда и техника безопасности на рабочем месте. По результатам комплексной оценки выявляются рабочие места, где указанные параметры могут быть достигнуты после оснащения его прогрессивным оборудованием и соответствующей рационализации и модернизации самого рабочего места. Определяются лишние (незагруженные) и рабочие места, модернизация которых неэффективна.

На основании полученных данных проводится технико-экономический анализ характеристик рабочего места и принимается решение об аттестации и продолжении эксплуатации рабочего места или его сокращении. В первом случае, при необходимости принимаются меры по дополнительной загрузке, закрепив за данным рабочим местом операции, выполнявшиеся на ликвидированных рабочих местах, или оно продолжает эксплуатироваться без внесения изменений.

По не аттестованным рабочим местам, подлежащих сокращению, принимается решение о передаче операций на другие рабочие места. В этом случае разрабатываются мероприятия по реализации оборудования, переквалификации и трудоустройству высвобождаемых рабочих. По подлежащим рационализации, определяются направления, возможности и сроки рационализации, намечаются меры по оснащению роботами, другим прогрессивным оборудованием или инструментом с целью исключения тяжелого, физического и ручного труда, повышению его организационно-технического уровня.

Основным инструментарием в работе по паспортизации ручного, физически тяжелого и малоквалифицированного труда является карта его учета, разработанная на ряде предприятий. Карта учета это первичный носитель информации о численности рабочих, занятых ручным трудом на тех или иных операциях, в тех или иных производственных подразделениях. В то же время это рабочий документ, позволяющий планировать мероприятия по сокращению ручного труда и последующей его механизации и автоматизации, а также контролировать ход их выполнения.

Карты оформляются в соответствии с инструкцией по ее заполнению на все технологические операции, на которых в момент заполнения карт работа выполняется вручную, для чего комиссией подразделения изучается выполняемая работа на всех технологических операциях и устанавливается степень механизации и автоматизации. Карты учета заполняются и на те операции, которые квалифицируются в целом как механизированные, но включают ряд технологических операций и переходов, выполняемых вручную. Карта учета ручного труда должна заполняться также на профессии и операции ручного труда, на которых сокращение его на текущий момент не представляется возможным.

В картах учета отражается наименование операции и профессии занятого ручным трудом, содержание ручной работы, используемое на операции оборудование, мероприятия по сокращению ручного труда и ожидаемый экономический эффект от их выполнения. Действует она, как правило, в течение пятилетнего периода и приспособлена для обработки данных, отражаемых в ней на ЭВМ. В случае передачи изделия другому подразделению или снятия с производства, ответственный исполнитель сообщает контролирующему органу об изменениях для своевременного снятия карт с учета или передачи их другому подразделению.

Рабочие комиссии в цехах на основе анализа карт учета ручного труда разрабатывают мероприятия по его ликвидации или сокращению. Мероприятия согласовываются с заводскими отделами главного технолога, подготовки производства, главного механика и главного технолога, автоматизации и механизации производства. Мероприятия включаются в планы технического перевооружения и научно-технического развития данного цеха.

1. 13 Лекция №13 (2 часа).

Тема: «Требования при разработки систем автоматического управления.»

1.13.1 Вопросы лекции:

1. Требования при разработки систем автоматического управления.

1.13.2 Краткое содержание вопросов:

1. Требования при разработки систем автоматического управления.

При создании автоматических систем управления технологическими процессами сельскохозяйственного производства одним из наиболее ответственных этапов является разработка оптимального, то есть наиболее эффективного варианта технологического процесса, подлежащего автоматизации.

В связи с тем, что сельское хозяйство характеризуется многообразием отраслей производства и разнообразием технологических процессов, разработка оптимального технологического процесса в каждом конкретном случае представляет собой очень сложную задачу. Развитие унифицированных процессов сельскохозяйственного производства способствует успеху разработки оптимальных, пригодных для автоматизации технологических процессов. Поэтому очень актуальной, особенно в условиях перевода сельского хозяйства на промышленную основу, является проблема типизации, универсализации и даже стандартизации сельскохозяйственных технологических процессов и техники.

Перевод сельского хозяйства на промышленную основу тесно связан с процессами концентрации и интенсификации производства. В этих условиях, когда наряду с большими потоками сырья, энергии, труда идет большой поток взаимосвязанной информации, точное и правильное осмысление этой информации, принятия соответствующих оптимальных решений и вообще полноценное управление производством возможны только при использовании методов и средств автоматизации. Однако применение достижений автоматизации требует определенной технологической подготовки производственных процессов.

Опыт перевооружения ведущих отраслей народного хозяйства показывает, что эффективность автоматизации зависит от взаимосвязанного решения трех основных задач: 1) разработки новых технологических процессов и типизации их; 2) создание технологического оборудования, что обеспечивает качественное выполнение типизированного технологического процесса; 3) выработка алгоритмов эффективного управления технологическими процессами, операциями и оборудованием с помощью технических средств автоматики.

Решение первой задачи требует специальных знаний и необходимого опыта по определению заданных параметров точности, производительности, способов обработки, транспортировки, хранения, по созданию методов типизации технологических процессов и т. д., то есть здесь нужны знания и опыт специалистов-технологов сельскохозяйственного производства, что в полной мере владеют основами технологической науки.

Типизацию технологического процесса в сельскохозяйственном производстве целесообразно начинать с составления так называемого технологической цепочки.

Технологическая цепочка отражает взаимосвязь технологических процессов, отдельных операций и режимов машин, участвующих в их выполнении. Например, технологическую цепочку послеуборочной обработки зерна в потоке включает следующие операции: доставку зерна от комбайна, взвешивания зерна, его разгрузка, транспортировка норийей, первичная очистка от крупных примесей на повітродіючих машинах, транспортировки норийей, сушки, охлаждения, транспортировки норийей, вторичное очистки от мелких примесей, транспортировки шнеком, сортировка на триерах, сбор в бункер, взвешивания, транспортировки на склад, взвешивания и складирования.

Технологическая цепочка позволяет выявить порядок действия машин в соответствии с требованиями процесса, объем работ поопераций, необходимое число машин, установить оптимальное агрегатирования и допустимый степень типизации технологических процессов. Таким образом, технологическая цепочка дает возможность глубоко проникнуть в саму технологию процесса во всех его аспектах.

Приступая к разработке систем автоматического управления, разработчик должен хорошо изучить объект автоматизации, вполне осознать все возможные режимы работы.

Следует иметь в виду, что разрабатывать автоматические системы управления объектом часто приходится для производства различных уровней развития. В связи с этим степень автоматизации и совокупность операции и режимов обусловлены уровнем развития самого производства. Следовательно, любой технологический процесс можно разделить на операции по-разному. Но при этом разделении разработчик всегда должен себе ответить на следующие основные вопросы.

1. Какие цель и задача системы автоматического управления?
2. Какие блоки составляют объект управления?
3. Какие функциональные и управляющие связи имеются между блоками, которые определяют будущую систему?
4. Какие режимы объекта управления и его блоков и сколько технологически допустимых переходов между этими режимами?
5. Какими конкретными алгоритмами описывается тот или иной режим?
6. Какие датчики и исполнительные элементы могут быть применены для данной системы?
7. Какие математические уравнения описывают взаимодействие управляющих сигналов и сигналов возмущения, характеризующие тот или иной режим работы систем?

После анализа технологических процессов или отдельных операций необходимо установить весь объем информационных параметров, характеризующих технологию и все их взаимосвязи.

Накопленная согласно поставленным вопросам информация должна быть отражена в компактной и удобной для дальнейшей работы форме. Именно это дает возможность выявить перечень информационных параметров.

Классификация информационных параметров и технологическую цепочку позволяют составить структурную схему системы управления, которая представляет собой совокупность объекта управления и управляющего устройства.

Следует иметь в виду, что неполная и неточная обработка всей информации приводит к ее искажения на следующих уровнях, к запаздыванию в принятии решений и мероприятий для согласования действий установок, поточных линий, цехов и в итоге к увеличению затрат на производство, снижение рентабельности, порчи продукции и т. д.

1. 14 Лекция №14 (2 часа).

Тема: «Построение структуры по заданной электрической схеме цепи»

1.14.1 Вопросы лекции:

1. Построение структуры по заданной электрической схеме цепи

1.14.2 Краткое содержание вопросов:

1. Построение структуры по заданной электрической схеме цепи

В машинах, приборах и аппаратах, в принципе, можно проводить разницу между физическими, алгебраическими и логическими элементарными процессами. В то время как логические и алгебраические процессы могут быть очень хорошо описаны посредством операций обычной алгебры и алгебры Буля, возможность описания физических процессов в технических системах путем соответствующих основных

операций, за исключением электроники, электроники и гидравлики, еще не очень хорошо известна.

Как уже упоминалось, под понятием "синтез функций" здесь следует понимать такие виды деятельности, которые необходимы для того, чтобы из словесной постановки задачи сформулировать общую функцию технической системы, а так же те виды деятельности, которые необходимы для того, чтобы общую функцию, сформулированную подобным образом, заменить структурами подфункций или структурами элементарных функций. Последнюю упомянутую технологическую операцию примерно можно сравнить с разработкой так называемых схем соединений для электрических или гидравлических систем. Отдельные рабочие шаги, необходимые для этого, должны называться формулирование и синтезирование.

Технологические позиции и результаты этих рабочих шагов - структуры функций, которые в соответствии с возрастающей степенью детализации должны обозначаться терминами общая функция, структура подфункции и элементарной функции или структура основной операции. Цель и назначение этого метода - создание достаточно обобщенной и абстрагированной модели соответствующей системы, которая пригодна для разработки всех существующих решений. В последующих главах на проведении этих рабочих шагов остановимся более подробно.

Формулировка общей функции.

Исходным моментом и предпосылкой для разработки общей функции является постановка задачи, зафиксированная в письменном виде, о цели системы, подлежащей разработке, и об условиях, при которых эта цель должна быть достигнута (раздел 5). Описание цели, в общем, дает весьма мало информации об условиях и результатах системы ("входное - выходное устройство"); оно ничего не говорит о том, как должны быть достигнуты эти результаты.

В дальнейшем под понятием система следует понимать техническое устройство, которое в зависимости от размера в состоянии выполнить одну или несколько физических логических или математических операций. Последующие рассуждения, в основном, должны ограничиваться физическими процессами, в силу чего от определения логических или других математических процессов, следует отказаться.

Системам для физических процессов присуща задача изменять каким-либо образом свойства или состояния входных величин: энергии, материала, сигнала или их потоков, так что они снова выходят из соответствующей системы в измененном виде, или, по возможности, без изменения переносить энергию, материал или сигналы таким образом, чтобы они в неизменном виде снова находились в распоряжении в другом месте. Соответственно этому, под технической функцией следует понимать связь "причина-следствие" между входной и выходной величинами. Таким образом, она конкретно может указываться в результате описания свойства или состояния входной и выходной величины, а также вида деятельности, который является необходимым для этого преобразования. Поэтому каждой функции может также присваиваться соответствующая общая функция, подфункция или элементарная функция.

Для разработки технических структур функций, исходя из конкретной постановки задачи, целесообразно рассматривать еще неизвестную систему, подлежащую разработке, как "черный ящик" с входным и выходным устройствами для энергий, материалов и сигналов (рисунок 6.1). Входные и выходные устройства системы представляют собой связи с другими соответствующими техническими системами, с человеком или с другими естественными системами. Далее, они отмечают границу между отдельными подсистемами. Входные и выходные величины и границы систем взаимно обуславливаются и постоянно встречаются в совокупности, поскольку технические и естественные системы обычно всегда находятся в какой-нибудь связи со своей "окружающей средой" или могут устанавливать с ней связь, поскольку речь идет не о замкнутых системах.

Эти связи или границы систем зачастую так же целесообразно называются как пункты пересечения между отдельными системами. Сообразно потокам энергий, материалов и сигналов, входящих в систему, или выходящих из нее, целесообразно проводить различие между пунктами пересечения на входе и выходе. Условия, которые должны быть выполнены, с тем, чтобы оказался возможен обмен энергией, материалами и сигналами, а также материальная связь между отдельными системами, должны соответственно называться условиями пунктов пересечения.

Входные и выходные величины иногда задаются через смежные системы, находящиеся в связи с системой, подлежащей разработке, или более, или менее, могут выбираться свободно. В постановке задачи для разработки конкретного изделия зафиксированы условия пунктов пересечения, поскольку они определены благодаря другим системам. В противном случае они могут устанавливаться на основании целевого назначения изделия, подлежащего разработке; зная целевое назначение, их в отдельных случаях, с учетом целесообразности также можно выбирать свободно. Входные и выходные величины обычно связаны друг с другом определенными причинными соотношениями. Их следует сформулировать в первом рабочем шаге. Согласно ранее изложенному, это можно обобщить в

Исходя из постановки задачи, в первом рабочем шаге необходимо установить общую функцию системы, подлежащей разработке. Под "формулировкой общей функции", в частности, следует понимать установление свойства и состояний входных и выходных величин, а также их соответствие с учетом заданной цели и ограничивающих условий. Другими словами: под формулировкой общей функции следует понимать преобразование описания цели в физические, алгебраические или логические функции с учетом ограничивающих условий

Если, в общем, свойство или состояние входной величины обозначить индексом GE_i , а сопряженную выходную величину индексом G_a_i , то эту задачу, как физическую функцию, можно кратко представить таким образом:

$$GE_i \Rightarrow G_a_i$$

Это выражение означает что входная величина GE_i (энергия, материал или сигнал) приписана выходной величине G_a_i и, что входную величину состояния GE_i каким-нибудь образом необходимо "преобразовать" в выходную величину состояния G_a_i . В общем, поток энергий, материала или сигнала может также разделяться или сводиться воедино технической системой, следовательно, входная величина может приписываться двум (или нескольким) выходным величинам, или несколько входных величин могут приписываться только одной выходной величине. Стрелка означает то же самое, что и "преобразование", или "изменение состояния или свойства". Индекс "i" должен обозначать соответствующие величины и, сообразно необходимости, принимать значения от 1 до N.

О свойствах (или состояниях) входных или выходных величин энергии, материала или сигнала (GE и G_a) в этой фазе должны существовать конкретные представления, в то время как вопрос о том "Как" осуществлять преобразование еще может оставаться неразрешенным. GE и G_a - независимые переменные, которые теоретически могут предполагаться какими угодно. Но зачастую та или иная входная и выходная величины, или обе величины постоянно задаются при постановке задачи.

Входная и выходная величины системы, подлежащей разработке, представляют собой функцию цели, которую необходимо достичь:

$$GE \text{ или } G_a = f(\text{цель})$$

Общая функция системы описана суммой всех соответствующих связей между отдельными входными и выходными величинами:

Наряду с определением, приведенным в разделе 5.1., под понятием функция следует также понимать соответствие входных и выходных величин технического устройства и их качественное изменение свойств или состояний. Понятие физико-технической функции, воспринимаемое здесь согласно описанию, описывается с

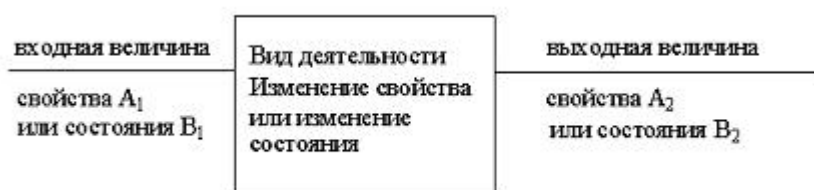
указанием свойства и (или) состояния физической величины перед соответствующей системой и после нее, а также с указанием вида деятельности, который необходим для того, чтобы преобразовать данную входную величину в соответствующую выходную величину

Поэтому в большинстве случаев функцию можно выразить словесно, в виде заголовка, одним или несколькими именами существительными и глаголами. В качестве примера могут служить электродвигатель и электрическая лампа накаливания. Электродвигатель преобразует электрическую энергию в кинетическую (электрическую энергию [Ws] превращаем в механическую энергию [mN]). Электрическая лампа накаливания преобразует электрическую энергию в световую (электрическую энергию: [Ws] преобразовываем в свет [Lm]). Для этого то, что должно быть достигнуто при помощи технической системы, без более детального рассмотрения входных и выходных величин, для различия должно называться целью или также целевой функцией технического устройства. Для наглядного объяснения сказанного делается ссылка на некоторые примеры из раздела 7.6.

Разработка структур подфункций - элементарных функций и структур основных операций.

Общую функцию комплексного технического устройства обычно можно составить из множества подфункций или элементарных функций. Согласно положению границ систем мысленно проводят различие между общими функциями, подфункциями и элементарными функциями. Точное определение понятия элементарная функция дается в разделе 7.3; здесь пока достаточным будет высказывание, что под элементарной функцией следует понимать наименьшую, в дальнейшем практически уже больше неделимую (расчленяемую) функцию. Подфункция, в общем, составляется из двух или нескольких элементарных функций. Несколько подфункций, в свою очередь, могут образовывать общую функцию.

Если предположить, что все процессы в технических машинах, приборах и аппаратах оказывается возможным свести к конечному числу элементарных функций, то представляется целесообразным свести общую функцию системы, подлежащей разработке, к структуре этих элементарных функций. Преимущество подобного метода заключается в том, что для требуемой общей функции соответствующей системы при сравнительно малой затрате времени могут разрабатываться несколько альтернативных структур функций и отбираться по их оптимальной пригодности.



Описательные признаки физической функции а также физической операции.

Примечательно то, что такие комплексные электрические или гидравлические системы реализуются благодаря структуре (схеме соединения) более или менее определенных элементарных функций или подфункций (сопротивления, усилители, схемы "ИЛИ" и т.д.).

В разработке электрических и гидравлических систем этот метод уже давно известен. Конструктор исходит из заданной функции системы, подлежащей разработке, и пытается заменить эти общие связи причина-следствие структурой известных подфункций или элементарных функций. С этой целью необходимо проанализировать данную общую функцию и расчленить ее на подфункции и/или элементарные функции. Условием для подобного вида деятельности являются определенные подфункции или элементарные функции. Создание структуры функции из определенных элементарных функций и/или

подфункций, эквивалентных общей функции, по существу, представляет собой процесс синтеза, который дополняется параллельными процессами анализа и основывается на них.

В конкретном случае имеют представление о связях причина-следствие общей системы (общей функции) и пытаются заменить их разумным сочетанием определенных элементарных функций или подфункций. Этот процесс можно сравнить с положением архитектора, который знает то, как должно выглядеть определенное здание, которое должно быть построено, и какие элементы конструкции /кирпичи, окна, двери и т.д./ находятся в распоряжении, с тем, чтобы реализовать эти замыслы. Прекрасное сравнение для метода при разработке структуры функции дает также игра - головоломка. Игрок знает отдельные кубики и общую картину, которая должна из них создаваться; в этой игре важность заключается "только" в том, чтобы их "правильно" установить друг к другу в один ряд.

Лучше всего эту проблематичность можно уяснить себе при разработке структур функций, разрабатывая схемы соединений для электрических систем (электрические схемы здесь практически идентичны так называемым структурам функций).

Как известно, для определенных групп электрических систем существуют весьма превосходные методы для проектирования логических систем для передачи информации; следует напомнить об алгебре Буля и о теории многополюсников. Если эти методы не знают или по другим причинам к ним нельзя прибегнуть, поскольку они для определенного случая являются неподходящими, то снова исходят из конструктивных элементов системы, находящихся в распоряжении, объединяют их в виде схемы соединений в единую структуру и одновременно анализируют их.

В случае, если этот "первый проект" еще обнаруживает ошибки, то он, соответственно, усовершенствуется и анализируется повторно. Этот процесс повторяется до тех пор, пока структура функции, разрабатываемая таким образом, не будет соответствовать заданной общей функции или желаемой связи причина-следствие общей системы.

Примерно таким образом, исключая использование каких-либо теорий, разрабатываются на практике схемы электрических соединений.

1. 15 Лекция №15 (2 часа).

Тема: «Построение передаточной функции по заданной электрической схеме цепи.»

1.15.1 Вопросы лекции:

1. Построение передаточной функции по заданной электрической схеме цепи.

1.15.2 Краткое содержание вопросов:

1. Построение передаточной функции по заданной электрической схеме цепи.

Вывести передаточную функцию для заданной RLC-цепи

Согласно закону Ома отношение напряжения к току равно сопротивлению

$$Z(p) = \frac{U(p)}{i(p)} \quad (1)$$

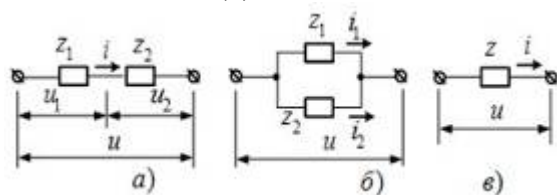


Рис.1 Последовательное и параллельное включение сопротивлений

Последняя формула определяет импеданс комплексного сопротивления как отношение изображений.

В случае последовательного включения (рис.1а) через z_1 и z_2 протекает общий ток и падения напряжений на сопротивлениях соответственно равны $u_1 = iz_1$ и $u_2 = iz_2$. Общее падение напряжения согласно второму закону Кирхгофа равно сумме $u = u_1 + u_2 = i(z_1 + z_2)$. Отсюда по закону Ома эквивалентное сопротивление цепи (рис.3.1в) равно сумме сопротивлений

$$Z = \frac{U}{I} = Z_1 + Z_2. \quad (2)$$

В случае параллельного включения (рис.1б) через сопротивления протекают токи i_1 и i_2 , создавая одинаковые падения напряжения $u = i_1 z_1 = i_2 z_2$. Согласно первому закону Кирхгофа общий ток равен сумме, где

$$y_1 = \frac{1}{z_1}$$

и

$$y_2 = \frac{1}{z_2}$$

Отсюда по закону Ома эквивалентная проводимость по Лапласу равна сумме проводимостей

$$Y = \frac{I}{U} = Y_1 + Y_2. \quad (3)$$

Переходя к сопротивлениям по Лапласу, получим

$$Z = \frac{1}{Y} = \frac{1}{Y_1 + Y_2} = \frac{1}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2}} = \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (4)$$

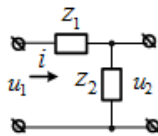


Рис.2. Делитель напряжения

В случае делителя напряжения (рис.2) ток i протекает через z_1 и z_2 последовательно.

Поэтому

$$i = \frac{u_1}{z_1 + z_2} \quad (5)$$

Выходное напряжение схемы является падением напряжения на сопротивлении z_2 .

Умножим (3.5) на z_2

$$u_2 = iz_2 = \frac{u_1 z_2}{z_1 + z_2}. \quad (6)$$

Отсюда передаточная функция делителя напряжения

$$W(p) = \frac{U_2(p)}{U_1(p)} = \frac{Z_2(p)}{Z_1(p) + Z_2(p)} \quad (7)$$

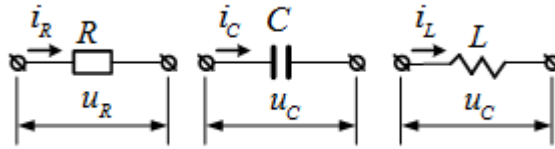


Рис.3. Активное, емкостное индуктивное сопротивления

Из физики для активного, емкостного и индуктивного сопротивлений (рис.3.3) в области оригиналов имеем

$$u_R = Ri_R; \quad i_C = C \frac{du_C}{dt}; \quad u_L = L \frac{di_L}{dt} \quad (8)$$

При переходе к изображениям при нулевых начальных условиях соответственно получим

$$U_R(p) = RI_R(p); \quad I_C(p) = CpU_C(p); \quad U_L(p) = LpI_L(p)$$

Отсюда по закону Ома для импедансов сопротивлений получим

$$Z_R(p) = \frac{U_R(p)}{I_R(p)} = R; \quad Z_C(p) = \frac{U_C(p)}{I_C(p)} = \frac{1}{Cp}; \quad Z_L(p) = \frac{U_L(p)}{I_L(p)} = Lp \quad (9)$$

Пример выполнения задания.

$$Z_1(p) = \frac{1}{Cp}, \quad Z_2(p) = R_1$$

$$W(p) = \frac{R_1}{\frac{1}{Cp} + R_1} = \frac{R_1 Cp}{1 + R_1 Cp} = \frac{Tp}{1 + Tp} = \frac{kp}{1 + Tp}$$

$$Z_1(p) = \frac{R_1 \frac{1}{Cp}}{R_1 + \frac{1}{Cp}} = \frac{R_1}{R_1 Cp + 1}$$

$$Z_2(p) = R_2$$

$$W(p) = \frac{R_2}{\frac{R_1}{R_1 Cp + 1} + R_2} = \frac{R_2(R_1 Cp + 1)}{R_1 + R_2(R_1 Cp + 1)} = \frac{R_2(R_1 Cp + 1)}{(R_1 + R_2) \left(\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} Cp + 1 \right)} = \frac{k(T_1 p + 1)}{T_2 p + 1}$$

$$T_1 = R_1 C, \quad T_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} C, \quad k = \frac{T_2}{T_1}$$

$$Z_1(p) = R_1$$

$$Z_2(p) = \frac{R_2 \frac{1}{Cp}}{R_2 + \frac{1}{Cp}} = \frac{R_2}{R_2 Cp + 1}$$

$$\begin{aligned}
k &= \frac{R_2}{R_1 + R_2}, \quad T = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} C \\
Z_1(p) &= R_1 \\
Z_2(p) &= R_2 + \frac{1}{Cp} = \frac{R_2 Cp + 1}{Cp} \\
W(p) &= \frac{R_2 Cp + 1}{Cp \left(R_1 + \frac{R_2 Cp + 1}{Cp} \right)} = \frac{R_2 Cp + 1}{(R_1 + R_2) Cp + 1} = \frac{T_2 p + 1}{T_1 p + 1}
\end{aligned}$$

$$T_1 = (R_1 + R_2)C, \quad T_2 = R_2 C, \quad T_1 > T_2$$

$$Z_1(p) = R_1$$

$$Z_2(p) = Lp + R_2$$

$$W(p) = \frac{Lp + R_2}{R_1 + R_2 + Lp} = \frac{R_2 \left(\frac{L}{R_2} p + 1 \right)}{(R_1 + R_2) \left(\frac{L}{R_1 + R_2} p + 1 \right)} = \frac{k(T_2 p + 1)}{T_1 p + 1}$$

$$k = \frac{R_2}{R_1 + R_2}, \quad T_1 = \frac{L}{R_1 + R_2}, \quad T_2 = \frac{L}{R_2}$$

$$Z_1(p) = \frac{R_1 Lp}{R_1 + Lp}$$

$$Z_2(p) = R_2$$

$$T_1 = \frac{L}{R_1}, \quad T_2 = \frac{L}{R_1} + \frac{L}{R_2}$$

$$Z_1(p) = R_1$$

$$Z_2(p) = \frac{R_2 Lp}{R_2 + Lp}$$

$$k = T_1 = \frac{L}{R_1}, \quad T = T_2 = \frac{L}{R_1} + \frac{L}{R_2}$$

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

2.1 Лабораторная работа №1,2 (4 часа).

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 I1 подан высокий уровень, система включена. Затем 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 А1 и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.

2.2 Лабораторная работа №3,4 (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 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 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 А2). Установите её в состояние «замкнуто» - на вход I1 подан высокий уровень, система включена.

Используя рукоятку в верхней части блока А4 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 А4). 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 №5,6 (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 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. 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 №7,8 (4 часа).

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 №9,10 (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 системы: кнопки с фиксацией поста управления A2 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 A1 и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.

2.6 Лабораторная работа №11,12 (4 часа).

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 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 параметры блока B001 (On=500, Off=500). Запустите программу на исполнение (пункт Start «Главного меню»).
- 7 Протестируйте работу схемы под управлением контроллера. Кнопки без фиксации поста управления A2 управляют двигателем A7: 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 A1 и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.

2.7 Лабораторная работа №13,14 (4 часа).

Тема: «Автоматическая система управления исполнительным электродвигателем с помощью переменного резистора»

2.7.1 Цель работы: Изучить автоматическую систему управления исполнительным электродвигателем с помощью переменного резистора

2.7.2 Задачи работы:

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

2.7.3 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

2.7.4 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 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.

2.8 Лабораторная работа №15 (2 часа).

Тема: «Автоматическая система пожарной сигнализации»

2.8.1 Цель работы: Изучить принцип действия автоматической системы пожарной сигнализации.

2.8.2 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. Блок оптических выключателей
6. Модель отапливаемого помещения
7. Зуммер

2.8.4 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»

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. Запустите программу на исполнение (пункт Start «Главного меню»).

7 Протестируйте работу схемы под управлением контроллера. Кнопка без фиксации поста управления А2 – ручное включение сигнализации. Кнопка с

фиксацией запуск/остановка сигнализации. Кнопка с фиксацией включение лампы накаливания. 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.