

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Методические указания для обучающихся по организации и проведению
самостоятельной работы по дисциплине**

**СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ
ПРОЦЕССАМИ**

Направление подготовки	18.03.01 Химическая технология
Направленность (профиль)	Основной органический и нефтехимический синтез
Форма обучения	Очная
Год начала обучения	2026
Реализуется	7 семестре

Ставрополь, 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ПЛАН-ГРАФИК ВЫПОЛНЕНИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ.....	4
МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА	7
МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАБОТЕ С ЛИТЕРАТУРОЙ	7
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....	8
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	

ВВЕДЕНИЕ

Современные стандарты подготовки бакалавров предусматривают значительный объем внеаудиторной работы. Освоение программы курса предполагает получение как теоретических знаний по автоматизированным системам управления, так и формирование навыков практической работы. Поэтому самостоятельная работа в рамках курса ориентирована как на теоретический, так и на практический аспект.

Самостоятельная работа студентов – это выполнение теоретических и практических заданий студентами по усвоению изучаемой дисциплины «Системы управления химико-технологическими процессами».

Бакалавр в области технологии продуктов питания, как в процессе проектирования технологического оборудования, так и в процессе его эксплуатации должен знать основные принципы работы автоматизированным системам управления. Это позволит грамотно и эффективно использовать технологические установки, выбирать оптимальные и экономически обоснованные режимы их работы, избегать возникновения нештатных и аварийных ситуаций при эксплуатации подобного оборудования.

В настоящее время идет активное развитие химической отрасли, появляются новое сложное оборудование. Поэтому инженер должен уметь его использовать как при проектировании оборудования, так и в процессе эксплуатации.

Используя теоретические знания и пользуясь настоящими методическими указаниями, студент может самостоятельно выполнить домашнюю работу, усвоить методы анализа систем автоматизации, что поспособствует более глубокому усвоению дисциплины «Системы управления химико-технологическими процессами».

Целью самостоятельной работы является закрепление и углубление знаний, полученных студентами на лекциях, подготовке к текущим практическим занятиям, промежуточным формам контроля знаний и к итоговому контролю.

Дидактические цели самостоятельных занятий:

- формирование профессиональных умений;
- формирование умений и навыков самостоятельного умственного труда;
- мотивирование регулярной целенаправленной работы по освоению специальности;
- развитие самостоятельности мышления;
- формирование убежденности, волевых черт характера, способности к самоорганизации;
- овладение технологическим учебным инструментом.

Самостоятельная работа включает те разделы курса, которые не получили достаточного освещения на лекциях по причине ограниченности лекционного времени и большого объема изучаемого материала.

Методическое обеспечение самостоятельной работы по дисциплине состоит из:

- 1) Определения учебных вопросов, которые студенты должны изучить самостоятельно;
- 2) Подбора необходимой учебной литературы, обязательной для проработки и изучения;
- 3) Поиска дополнительной научной литературы, к которой студенты могут обращаться по желанию, если у них возникает интерес в данной теме;
- 4) Определения контрольных вопросов, позволяющих студентам самостоятельно проверить качество полученных знаний;
- 5) Организации консультаций преподавателя со студентами для разъяснения вопросов, вызвавших у обучающихся затруднения при самостоятельном освоении учебного материала.

Самостоятельная работа студента – это особым образом организованная деятельность, включающая в свою структуру такие компоненты, как:

- уяснение цели и поставленной учебной задачи;
- четкое и системное планирование самостоятельной работы;
- поиск необходимой учебной и научной информации;
- освоение собственной информации и ее логическая переработка;
- использование методов исследовательской, научно-исследовательской работы для решения поставленных задач;
- выработка собственной позиции по поводу полученной задачи;
- представление, обоснование и защита полученного решения;
- проведение самоанализа и самоконтроля

Виды самостоятельных работ по учебной дисциплине:

- работа с понятийным аппаратом;
- поисковая работа с различными источниками;
- составление аннотированного списка литературы по проблеме;
- работа с фрагментами исследовательской деятельности;
- анализ научных исследований по психологической проблематике;
- подготовка домашней работы по теме.

Контроль знаний студентов включает формы текущего и итогового контроля. Текущий контроль осуществляется в процессе изучения курса и включает в себя оценку работы студентов на лабораторных и практических занятиях (собеседование, тестирование), а также подготовку домашнего задания.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

Комплексное изучение предлагаемой студентам учебной дисциплины «Системы управления химико-технологическими процессами» предполагает овладение материалами лекций, учебников, программы, творческую работу студентов в ходе проведения практических и лабораторных занятий, а также систематическое выполнение заданий для самостоятельной работы.

В ходе лекций раскрываются основные вопросы в рамках рассматриваемых тем, делаются акценты на наиболее сложные и интересные положения изучаемого материала, которые должны быть приняты студентами во внимание. Материалы лекций являются основой для подготовки студентов к лабораторным и практическим занятиям.

Работа с конспектом лекций

Просмотрите конспект сразу после занятий. Отметьте материал конспекта лекций, который вызывает затруднения для понимания. Попробуйте найти ответы на затруднительные вопросы, используя предлагаемую литературу. Если самостоятельно не удалось разобраться в материале, сформулируйте вопросы и обратитесь на текущей консультации или на ближайшей лекции за помощью к преподавателю.

Каждую неделю отводите время для повторения пройденного материала, проверяя свои знания, умения и навыки по контрольным вопросам и тестам.

Выполнение практических занятий по дисциплине «Системы управления химико-технологическими процессами»

На первом занятии получите у преподавателя задания по курсу, планы подготовки к практическим занятиям. Обзаведитесь всем необходимым методическим обеспечением.

Перед практическими занятиями изучите теорию вопроса, предполагаемого к исследованию, ознакомьтесь с опытом других исследователей в этом направлении, подготовьте протокол проведения работы, в который занесите:

- название работы; цель работы; ход работы.

Оформление отчетов должно производиться после окончания работы непосредственно на занятии, при наличии свободного времени или дома.

Для подготовки к защите отчета следует проанализировать экспериментальные результаты, сопоставить их с известными теоретическими положениями или эмпирическими справочными данными, обобщить результаты исследований в виде лаконичных выводов по работе.

Целью практических занятий является:

- закрепление методов приложения теории к решению практических задач анализа и синтеза психологического знания;
- проверка уровня понимания студентами вопросов, рассмотренных на лекциях и по учебной литературе, степени и качества усвоения материала;
- обучение навыкам освоения методики эксперимента и работы с нормативно- справочной литературой;
- восполнение пробелов в пройденной теоретической части курса и оказание помощи в его усвоении.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАБОТЕ С ЛИТЕРАТУРОЙ

Изучение и анализ литературных источников является обязательным видом самостоятельной работы студентов. Изучение литературы по избранной теме имеет своей задачей проследить характер постановки и решения определенной проблемы различными авторами, аргументацию их выводов и обобщений, провести анализ и систематизировать полученный материал на основе собственного осмысления с целью выяснения современного состояния вопроса.

Проработка отобранного материала обязательно должна идти с одновременным ведением записей прочитанного и своих замечаний. Запись может иметь как форму конспекта, так и выписок, а также картотеку положений, тезисов, идей, методик, что в дальнейшем облегчит классификацию и систематизацию полученного материала. Такого рода записи являются лучшим способом накопления и первичной обработки материала, одной из обязательных форм организации умственного труда.

Планом удобно пользоваться при подготовке к устному выступлению по выбранной теме. Каждый пункт плана должен раскрывать одну из сторон избранной темы, а весь план должен охватывать ее целиком.

Тезисы предполагают сжатое изложение основных положений текста в форме утверждения или отрицания. Они являются более совершенной формой записей и представляют основу для дискуссии. К тому же их легко запомнить.

Аннотация – краткое изложение содержания – дает общее представление о работе.

Резюме кратко характеризует выводы, главные итоги произведения.

Конспект является наиболее распространенной формой ведения записей. Основную ткань конспекта составляют тезисы, дополненные доказательствами и рассуждениями. Конспект может быть текстуальным, свободным или тематическим. Текстуальный представляет собой цитатник с сохранением логики работы и структуры текста. Свободный конспект основан на изложении материала в том порядке, который более удобен автору. В этом смысле конспект представляет собою сборку воедино мыслей, разбросанных по всей книге. Тематический конспект может быть составлен по нескольким источникам, где за основу берется тема, интерпретируемая по-разному. Экономия времени дает использование при записях различного рода сокращений, аббревиатуры и т.д. Многие используют для регистрации исследуемых тем систему карточек.

Преимущество карточек в том, что тема там излагается очень сжато, и они очень удобны в использовании, т.к. их можно разложить на столе, перегруппировать и без труда найти искомую тему.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Дают студенту возможность оперативной оценки своей подготовленности по данной теме и определения готовности к изучению следующей темы. Контрольные вопросы направлены на то, чтобы студент мог проверить понимание понятийного аппарата учебной дисциплины, смог воспроизвести фактический материал, раскрыть причинно-следственные, временные связи, а так же мог выделять главное, сравнивать, доказывать, конкретизировать, обобщать и систематизировать знания.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания для практических занятий по дисциплине

**СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ
ПРОЦЕССАМИ**

Направление подготовки	18.03.01 Химическая технология
Направленность (профиль)	Основной органический и нефтехимический синтез
Форма обучения	Очная
Год начала обучения	2026
Реализуется	7 семестре

Ставрополь, 2026

Тема 1. Основы теории автоматического управления. Методы и функции управления технологическими процессами.

Динамические характеристики элементов САУ.

Цель занятия: изучить математическое моделирование систем автоматического управления.

В результате изучения представленной темы необходимо знать:

Основы математического моделирования систем автоматического управления.

Установившиеся и динамические процессы в технических системах. Понятие состояния, уравнения состояния линейных моделей динамических систем.

Дифференциальные уравнения типовых управляемых процессов и технических объектов. Методы операционного исчисления для их анализа и синтеза.

Динамические характеристики объектов управления: Частотные характеристики САУ.

Студент должен знать:

- описание процессов с помощью дифференциальных уравнений.
- методы операционного исчисления для анализа и синтеза;
- передаточную функцию, переходную характеристику, функцию веса;
- частотные характеристики САУ.

уметь:

- находить передаточную функцию, переходную характеристику, функцию веса объектов управления;
- применять методы операционного исчисления для анализа и синтеза системы управления.

Совокупность дифференциальных уравнений полностью описывают поведение системы в динамическом режиме. Дифференциальные уравнения – это уравнения динамики.

Математическое описание динамики САУ обычно производится путем составления системы дифференциальных (иногда интегро-дифференциальных) уравнений. Любая реальная динамическая система является нелинейной. Однако большинство непрерывных систем управления могут быть линеаризованы, т. е. заменены приближенно эквивалентными системами, переходные процессы в

которых описываются обыкновенными линейными дифференциальными уравнениями с постоянными коэффициентами. Такие системы управления принято называть линейными.

Линеаризация исходных систем основывается на методе малых отклонений. Сущность этого метода заключается в том, что динамические свойства системы управления исследуются не во всем возможном диапазоне изменения переменных систем, а вблизи их некоторых значений, соответствующих характерным режимам работы (например, установившимся режимам).

Для описания динамических свойств звеньев более удобно пользоваться не непосредственно дифференциальными уравнениями, а следующими коэффициентами или функциями, вытекающими из уравнения и также полностью определяющими связь между входной и выходной величинами звеньев:

передаточной функцией;

переходной характеристикой (функцией);

комплексным коэффициентом передачи (ККП).

Для определения передаточной и переходной функций звена наиболее целесообразно использовать преобразование Лапласа.

В справочниках по математике имеются таблицы преобразования Лапласа для различных функций, встречающихся в практических задачах. Основные формулы из этих таблиц приведены в прил. 1.

$$h(t)$$

Переходная или временная характеристика (функция) звена представляет собой реакцию на выходе звена, вызванную подачей на его вход единичного ступенчатого воздействия при нулевых начальных условиях.

Переход от передаточной функции к комплексному коэффициенту передачи (ККП) осуществляется заменой $j\omega$ на s в выражении передаточной функции. Имея ККП, можно построить амплитудно-фазовую характеристику звена.

Самостоятельная работа студентов.

по индивидуальным заданиям записать передаточную функцию, если объект регулирования описывается дифференциальным уравнением. Определить порядок объекта, записать его дифференциальное уравнение по передаточной функции.

- Найти реакцию системы на единичный скачок при нулевых начальных условиях.
- Построить частотные характеристики.

В результате изучения представленной темы необходимо знать ответы на следующие контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Поясните методику составления дифференциальных уравнений элементов САУ.
2. Зачем необходима линеаризация уравнений и что лежит в ее основе?
3. Почему для анализа и синтеза САУ, а также для исследования ее динамического поведения используют преобразование Лапласа? Назовите основные свойства преобразования Лапласа.
4. Что такое передаточная функция?
5. Что характеризует передаточная функция звена? Каковы ее возможности? Что такое временные характеристики? Для чего они необходимы? Какие типовые входные воздействия используются для получения временных характеристик?
6. Для чего необходимы частотные характеристики?
7. Что характеризует частотная передаточная функция? Каковы ее возможности?
8. Как графически представляют частотные характеристики?
9. Какая взаимосвязь существует между годографом частотной передаточной функции и ЛАЧХ сЛФЧХ?
10. Чем отличаются переходная и импульсная функции?
11. Какова методика получения импульсной функции?
12. Какова методика получения переходной функции?

Какова методика построения переходной характеристики по её известной импульсной функции?

Тема 1. Основы теории автоматического управления. Методы и функции управления технологическими процессами.

Структурные схемы САУ

Цель занятия: изучить основные методы преобразования структурных схем.

В результате изучения представленной темы необходимо знать: Типовые динамические звенья систем управления. Передаточные функции типовых звеньев и формирование из них структур САУ. Типовые соединения последовательное, параллельное, встречно-параллельное. Обратные связи. Преобразование структурных схем. Уравнение в переменных вход–выход; вычисление передаточных функций одномерных и многомерных систем.

В качестве типовых звеньев САУ выбраны наиболее простые звенья, в которых процессы описываются дифференциальными уравнениями не выше 2-го порядка. При этом замену реального звена типовым осуществляют так: если передаточные функции реального и типового звеньев совпадают, то они являются взаимозаменяемыми; более сложные реальные звенья заменяются, если возможно, последовательным или параллельным соединением типовых звеньев.

Структурные схемы систем автоматического управления в наглядной форме отражают состав систем и связи между их элементами. С помощью структурных схем удастся уточнить внутреннее строение системы и найти место включения дополнительных связей улучшающих качество динамических процессов, происходящих в системе.

Для упрощения структурных схем, получения передаточных функций всей разомкнутой системы, передаточных функций замкнутой системы по ошибке и выходному сигналу применяются структурные преобразования. Рассмотреть основные правила, позволяющие определять передаточные функции системы в целом по передаточным функциям отдельных элементов. Эти правила составляют алгебру передаточных функций. Освоить, как передаточную функцию замкнутой системы можно найти по передаточной функции разомкнутой системы.

Самостоятельная работа студентов.

По индивидуальным заданиям записать общую передаточную функцию разомкнутой и замкнутой системы, если система регулирования представлена структурной схемой. Определить порядок объекта.

В результате изучения представленной темы необходимо знать ответы на следующие контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Как записываются передаточные функции и переходные характеристики: а) апериодического звена 1-го порядка;
б) колебательного звена;
в) апериодического звена 2-го порядка; г) реального дифференцирующего звена; д) реального интегрирующего звена?
2. Перечислить параметры отдельных звеньев и объяснить их физический смысл.
3. Объяснить способы вычисления параметров звеньев по экспериментальным переходным характеристикам.
4. Какие коэффициенты входят в передаточную функцию звена первого порядка? Как экспериментально определить эти коэффициенты?
5. Какой вид имеют передаточная функция и дифференциальное уравнение апериодического звена первого порядка?
6. Какие вы знаете комбинации звеньев?
Какие существуют эквивалентные преобразования структурных схем?
7. Приведите примеры типовых динамических звеньев (статических, интегрирующих, дифференцирующих, неустойчивых, запаздывания).

Тема 2. Автоматические системы регулирования. Устойчивость системы регулирования.

Цель занятия: изучить теоретические и экспериментальные методы исследования влияния отдельных параметров системы на устойчивость и качество

работы системы.

В результате изучения представленной темы необходимо знать: Математический признак устойчивости, критерии оценки устойчивости линейных САУ. Алгебраический критерий Гурвица. Критерий Рауса. Частотные критерии устойчивости. Критерий устойчивости Михайлова. Критерий устойчивости Найквиста. Определение устойчивости по логарифмическим частотным характеристикам.

Необходимое и достаточное условие устойчивости линейных систем: среди корней характеристического уравнения отсутствуют нулевые и чисто мнимые корни; вещественные части всех корней характеристического уравнения отрицательные.

Самостоятельная работа студентов.

Законспектировать пример расчета разветвленной цепи переменного тока. Описать методы повышения коэффициента мощности на электроустановках.

В результате изучения представленной темы необходимо знать ответы на следующие контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Как влияет тип регулятора на устойчивость системы?
2. Какие существуют показатели качества переходного процесса?
3. Как влияют параметры П-, И-, ПИ-регуляторов на переходной процесс системы?
4. Как определить устойчивость системы по критерию Гурвица?
5. Дайте понятие устойчивости САУ.
6. Что характерно для линейных систем управления?
7. Как определяется устойчивость системы управления по Ляпунову?
8. Каковы особенности алгебраических и частотных критериев устойчивости?

9. Приведите формулировку и поясните физический смысл частотного критерия устойчивости Найквиста для устойчивых в разомкнутом состоянии систем.

10. Как можно оценить запас устойчивости САУ

Тема 2. Автоматические системы регулирования. Устойчивость системы регулирования.

Цель занятия: изучить теоретические и экспериментальные методы исследования влияния отдельных параметров системы на устойчивость и качество работы системы.

В результате изучения представленной темы необходимо знать: Математический признак устойчивости, критерии оценки устойчивости линейных САУ. Алгебраический критерий Гурвица. Критерий Рауса. Частотные критерии устойчивости. Критерий устойчивости Михайлова. Критерий устойчивости Найквиста. Определение устойчивости по логарифмическим частотным характеристикам.

Необходимое и достаточное условие устойчивости линейных систем: среди корней характеристического уравнения отсутствуют нулевые и чисто мнимые корни; вещественные части всех корней характеристического уравнения отрицательные.

Самостоятельная работа студентов.

Законспектировать пример расчета разветвленной цепи переменного тока. Описать методы повышения коэффициента мощности на электроустановках.

В результате изучения представленной темы необходимо знать ответы на следующие контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

11. Как влияет тип регулятора на устойчивость системы?
12. Какие существуют показатели качества переходного процесса?
13. Как влияют параметры П-, И-, ПИ-регуляторов на переходной процесс системы?
14. Как определить устойчивость системы по критерию Гурвица?
15. Дайте понятие устойчивости САУ.
16. Что характерно для линейных систем управления?
17. Как определяется устойчивость системы управления по Ляпунову?
18. Каковы особенности алгебраических и частотных критериев

устойчивости?

19. Приведите формулировку и поясните физический смысл частотного критерия устойчивости Найквиста для устойчивых в разомкнутом состоянии систем.

20. Как можно оценить запас устойчивости САУ?

.

Тема 2. Автоматические системы регулирования. Основные законы управления, релейноерегулирование.

Цель занятия: Типовые законы регулирования. Регуляторы. Расчет параметров настройки регуляторов. Релейная система регулирования. Адаптивные системы управления. Дискретные системы управления. Дискретные устройства, реализующие логические функции. Синтез устройств, реализующих переключающую функцию. Релейно-контактные и бесконтактные логические устройства. Устройства блокировки и сигнализации.

В результате изучения представленной темы необходимо знать:

Общие сведения о регуляторах. Классификация регуляторов. Выбор типа регулятора. Формульный метод определения настроек регулятора. Постановка задачи на оптимизацию.

Самостоятельная работа студентов.

Составить схему подсоединения однофазных и трехфазных потребителей и трехфазным цепям переменного тока.

Постановка задачи на оптимизацию и ее решение включает в себя ряд этапов:

- выбор и обоснование цели оптимизации;
- согласование цели с имеющимися возможностями, т.е. учет ограничений;
- реализация способа достижения цели (экспериментального значения критерия качества)при учете ограничений.

В результате изучения представленной темы необходимо знать ответы на следующие контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Какие признаки лежат в основе классификации объектов управления?
2. Дайте определения объектов управления одномерных и многомерных, односвязных и многосвязных, линейных и нелинейных, с сосредоточенными и распределенными параметрами.
3. Что понимают под емкостью объекта?
4. Что служит мерой емкости объекта?
5. Как влияет емкость объекта на качество регулирования?
6. Что такое самовыравнивание объекта и как оно влияет на переходный процесс?
7. Охарактеризуйте объекты нейтральные, устойчивые, неустойчивые.
8. Что такое транспортное запаздывание, переходное запаздывание?
9. Как влияет запаздывание на качество регулирования?
10. Как определяют свойства объектов?
11. Как экспериментально определяют переходные характеристики объекта?
12. Как определяют параметры передаточной функции по переходной характеристике?
13. Как экспериментально определяют частотные характеристики объекта?
14. Что входит в задачу синтеза регуляторов и каковы основные этапы решения задачи синтеза регуляторов?
15. Назовите основные законы действия регуляторов.

16. Охарактеризуйте свойства пропорционального, интегрального, пропорционально-интегрального, пропорционально-дифференциального, пропорционально-интегрально-дифференциального законов регулирования.

17. Каковы особенности позиционных регуляторов?

18. Что представляют из себя регуляторы с прогнозирующей моделью и на основе искусственных нейронных сетей?

19. Что лежит в основе выбора закона регулирования?

20. Как определяют оптимальные параметры настройки промышленных регуляторов с запасом устойчивости?

21. Охарактеризуйте систему регулирования с автоматической настройкой параметров регулятора.

Тема 3. Стандартизация в разработке систем управления. Технические средства систем управления.

Цель занятия: изучить основные средства измерений технологических параметров, технические средства системы автоматического управления технологическими процессами. Роль микропроцессорной техники в системе управления. Государственная система приборов и средств автоматизации.

Объяснение различных методов и принципов действия соответствующих датчиков для измерения химико-технологических параметров.

В результате изучения представленной темы необходимо знать ответы на следующие контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Каково назначение первичного измерительного преобразователя, каковы его характеристики, какими показателями можно охарактеризовать его динамические свойства?
2. Каково назначение промежуточных преобразователей, ЦАП, АЦП, нормирующих преобразователей? Каков принцип их действия?
3. Как происходит сопряжение преобразователей с ИИС? Охарактеризуйте и сравните пневматические, электрические и волоконно-оптические линии связи.
4. Как измеряются электрические величины — носители информации о состоянии ХТП? Сравните действие уравновешенного и неуравновешенного мостов.
5. Как измеряется ТЭДС?
6. Каков принцип действия деформационных, емкостных, пьезометрических, индуктивных преобразователей давления?
7. Как защищают манометры от действия агрессивных, горячих, загрязненных, кристаллизующихся и вязких сред?
8. Назовите основные виды манометрических термометров и их характерные свойства.
9. Объясните принцип действия термоэлектрического преобразователя. Какие существуют способы устранения погрешности, обусловленной температурой свободных концов термоэлектрического преобразователя?
10. Перечислите достоинства и недостатки термометров сопротивления.
11. Как уменьшить погрешности измерения температуры контактным и бесконтактным методами?
12. Каков принцип действия расходомеров переменного и постоянного перепада давления?
13. Как защищают расходомеры переменного перепада давления при измерении расхода агрессивных и вязких жидкостей?
14. Каков принцип действия электромагнитных преобразователей расхода?
15. Сравните различные способы измерения уровня.
16. Какова структура интеллектуальных преобразователей давления, температуры, расхода и уровня?
17. Объясните принцип действия физических газоанализаторов и анализаторов жидкости.

Тема 4. Проектирование систем автоматизации

Цель занятия: изучить методику составления схем автоматизации систем управления основных технологических процессов с использованием условных обозначений систем автоматизации, изображение технологического оборудования, коммуникаций, приборов и средств автоматизации на функциональных схемах.

Студент должен знать:

- Основные положения по составлению функциональной схемы автоматизации
- Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах
- Правила построения условных обозначений
- Примеры построения условных обозначений приборов и средств автоматизации;

уметь:

- Составлять контур управления типовых систем автоматического управления в пищевой промышленности.

Самостоятельная работа студентов.

Изучить и законспектировать устройство и принцип действия ТП. Разработать схему автоматизации с применением электрических приборов с дистанционной передачей показаний, составить спецификацию на приборы и средства автоматизации.

В результате изучения представленной темы необходимо знать ответы на следующие контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Методика составления функциональных схем систем управления основных технологических процессов с использованием условных обозначений систем автоматизации.
2. Изображение технологического оборудования и средств автоматизации на функциональной схеме систем управления процессами.
3. Составление функциональной схемы автоматизации с разрывом линий связи.

**Тема 5. Автоматизированные системы управления
производственными и технологическими процессами.
Автоматизированные системы управления технологическими процессами
(АСУ ТП).**

Цель занятия: изучить принцип построения автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП).

Автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУ ТП) — это человеко-машинная система управления, обеспечивающая автоматизированный сбор и обработку информации, необходимой для оптимизации управления технологическим объектом в соответствии с принятым критерием. АСУ ТП предназначена для выработки и реализации управляющих воздействий на технологический объект управления (ТОУ), который представляет собой совокупность технологического оборудования и реализованного на нем согласно инструкциям технологического процесса производства.

Студент должен знать:

- классификацию АСУ;
- функции АСУ ТП.

уметь:

- определить типы и параметры
-

Самостоятельная работа студентов.

Законспектировать типы и функции АСУ.

Зарисовать схему супервизорной системы управления. Описать принцип ее работы.

В результате изучения представленной темы необходимо знать ответы на следующие контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные функции промышленных АСУ ТП.
2. Какие существуют разновидности АСУ ТП?
3. Каковы режимы действия распределенных систем управления?
4. Что входит в обеспечение АСУ ТП?
5. Как определяется надежность АСУ ТП?
6. Как осуществляется взаимодействие человека-оператора с техническими средствами АСУ ТП?
7. Приведите примеры промышленных АСУ ТП.

Тема 6. Системы управления типовыми объектами технологии. Типовые системы автоматического управления в химической промышленности.

Цель занятия: познакомиться с типовыми системами автоматического управления в химической промышленности.

В результате изучения представленной темы необходимо знать ответы на следующие контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Каковы особенности регулирования расхода, уровня, давления, температуры, pH?
2. Назовите особенности регулирования паро-жидкостного теплообменника.
3. Каким звеном можно представить динамику паро-жидкостного теплообменника?
4. Предложите, учитывая основные возмущающие и управляющие воздействия, варианты систем регулирования температуры жидкости на выходе промышленного кожухотрубного паро-жидкостного теплообменника.
5. Назовите особенности регулирования массообменных процессов.
6. Предложите варианты регулирования параметров ректификационной установки.
7. Каковы особенности регулирования химических реакторов?
8. Как выполняется синтез автоматических систем регулирования? Назовите и поясните этапы синтеза САР.
9. Для чего необходим синтез инвариантных САР?

Содержание по темам программ дисциплины

1 Формулировка задания и его объем

Контрольная работа состоит из трех заданий. Номер варианта задачи, определяется номером, под которым студент числится в журнале учёта посещения занятий.

Задание 1.

Определить устойчивость системы автоматического управления химико-технологического процесса по критериям Гурвица, Рауса и Михайлова.

Характеристическое уравнение системы:

$$a_0 \cdot p^4 + a_1 \cdot p^3 + a_2 \cdot p^2 + a_3 \cdot p + a_4 = 0$$

Коэффициенты характеристического уравнения даны в таблице №1.

Задание 2.

Исследовать систему управления технологическим оборудованием в химико-технологической промышленности по заданной структурной схеме (см. приложение 1).

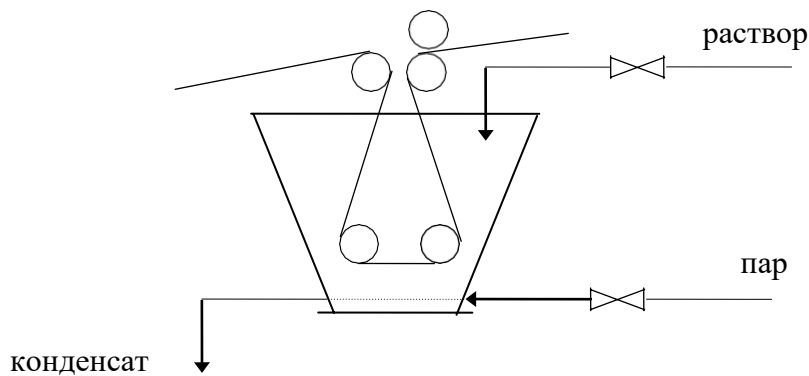
1. Составить структурную схему САУ с учетом звеньев.
2. Указать элементы сравнения, сумматор и обратные связи.
3. Найти общую передаточную функцию.
4. Записать характеристическое уравнение разомкнутой и замкнутой системы и по нему определить устойчивость системы по одному из критериев Гурвица, Рауса, Михайлова (на выбор).

Задание 3.

1. Разработать схему автоматизации с применением программно-логического контроллера, составить спецификацию на приборы и средства автоматизации.

Технологическая схема крашения ткани. $T = 40^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$;

$L=400 \pm 10$ мм; F — контроль расхода.

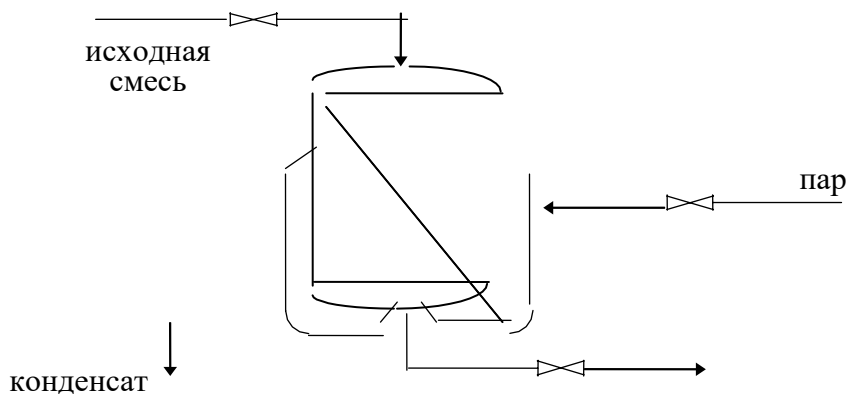


Предусмотреть: регулирование температуры в красильной ванне; регулирование уровня; расход пара — контроль и суммирование.

2. Разработать схему автоматизации с применением электрических приборов с дистанционной передачей показаний, составить спецификацию на приборы и средства автоматизации.

Технологическая схема автоклава (периодический процесс).

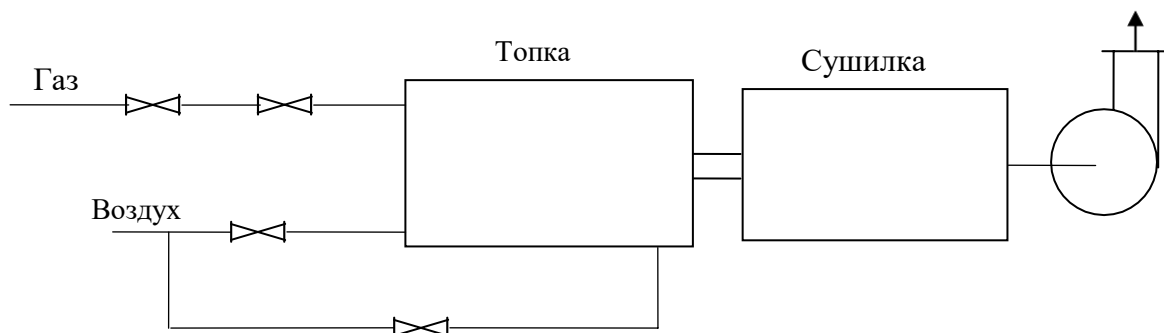
$T = 150^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$; $L = 4\text{ м} \pm 10$ мм; $P = 2,5$ МПа.



Предусмотреть: измерение давления в аппарате; регулирование температуры в автоклаве; измерение уровня и автоматическую отсечку подачи исходного раствора; дистанционное управление на загрузку и выгрузку автоклава.

3. Разработать схему автоматизации с применением программно-логического контроллера, составить спецификацию на приборы и средства автоматизации.

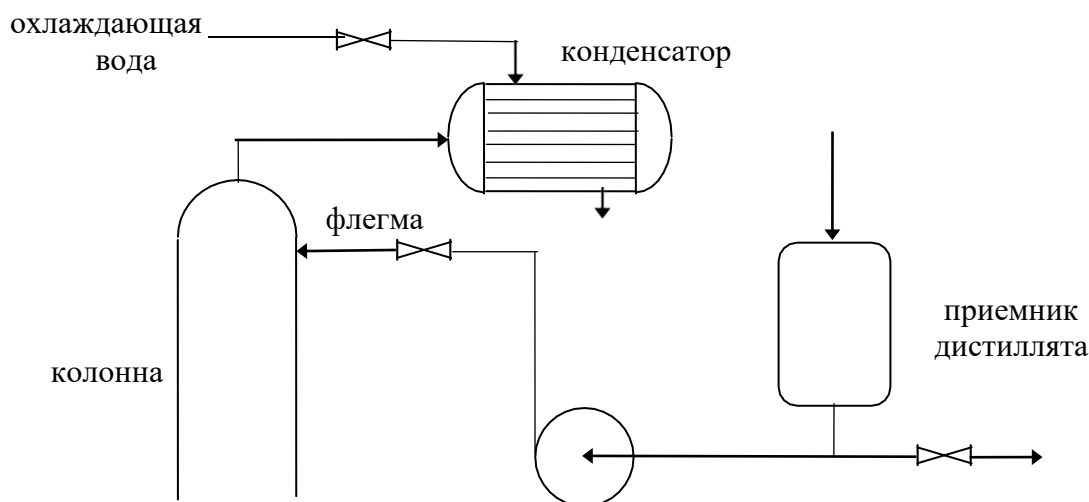
Технологическая схема сушильного агрегата. Соотношение газ-воздух 1:3. Температура в печи 1000°C . Разрежение 50 кПа. Температура в сушилке 400°C .



Предусмотреть: измерение расхода газа на горелку; регулирования соотношения газ-воздух 1:3; регулирование температуры в топке.

4. Разработать схему автоматизации с применением электрических приборов с дистанционной передачей показаний, составить спецификацию на приборы и средства автоматизации.

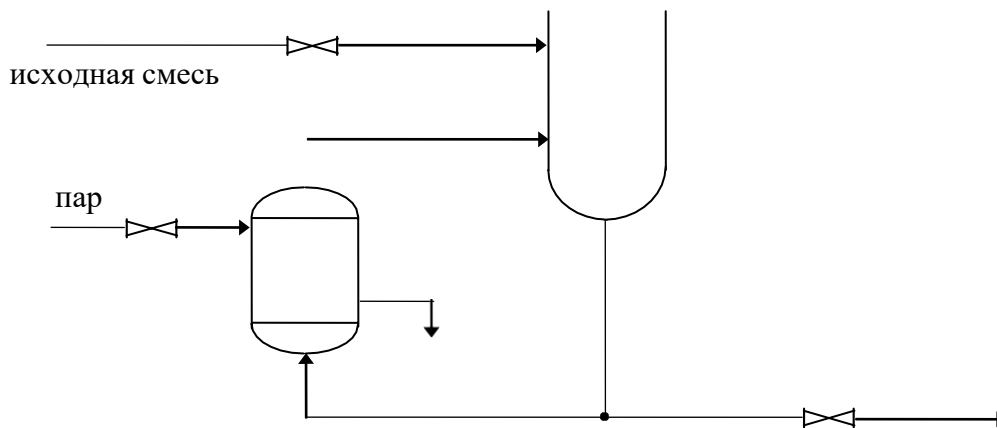
Технологическая схема верха ректификационной колонны. Перепад давления колонны 5 кПа. Температура после конденсатора 20°C . Расход флегмы 0,3 л/мин. Уровень дистиллята 1м.



Предусмотреть: регулирование температуры после конденсатора; регулирование уровня в приемнике дистиллята; контроль расхода флегмы на колонну.

5. Разработать схему автоматизации с применением программно-логического контроллера, составить спецификацию на приборы и средства автоматизации.

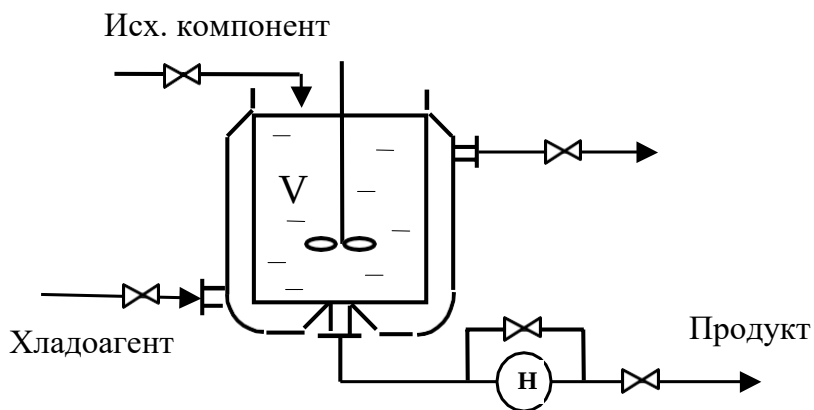
Технологическая схема низа ректификационной колонны. Температура в колонне 80°C . Уровень в кубе 400 мм. Расход исходной смеси 0,5 л/мин.



Предусмотреть: регулирование температуры в колонне; регулирование уровня в кубе колонны; регулирование расхода исходной смеси.

6. Разработать схему автоматизации с применением программно-логического контроллера, составить спецификацию на приборы и средства автоматизации.

Технологическая схема емкостного химического реактора. Температура в колонне 80°C , уровень в реакторе $L = 1,6$ м, расход исходной смеси $4 \text{ м}^3/\text{ч}$.

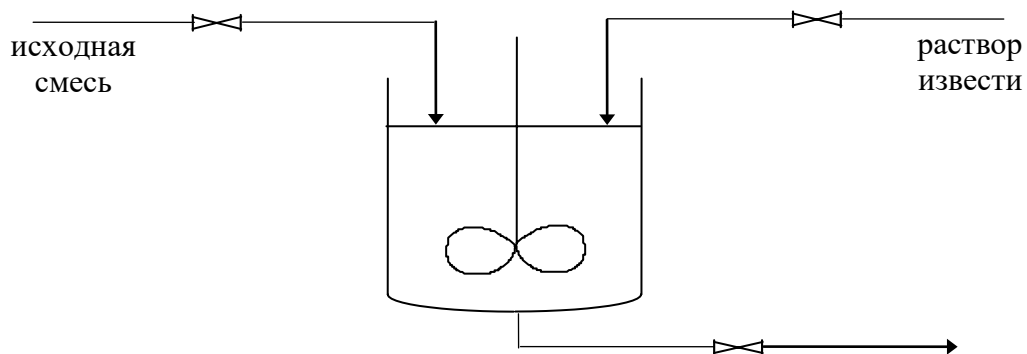


Предусмотреть: регулирование температуры в реакторе; контроль и сигнализацию уровня в реакторе; контроль расхода исходной смеси.

7. Разработать схему автоматизации с применением электрических приборов с дистанционной передачей показаний, составить спецификацию на приборы и средства автоматизации.

Технологическая схема нейтрализатора.

$\text{pH} = 7 \pm 0,2\text{pH}$. $F = 5 \text{ м}^3/\text{ч}$. $L = 2\text{м}$.

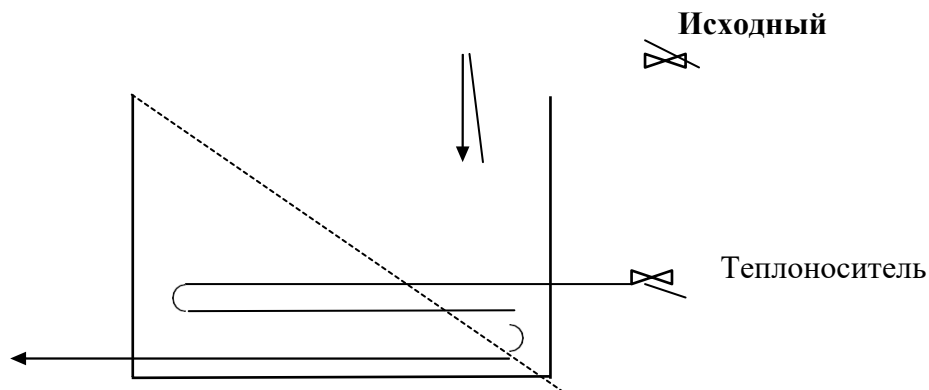


Предусмотреть: регулирование расхода исходной смеси; регулирование pH на выходе из нейтрализатора; контроль уровня в нейтрализаторе.

8. Разработать схему автоматизации с применением электрических приборов с дистанционной передачей показаний, составить спецификацию на приборы и средства автоматизации.

Технологическая схема ванны никелирования.

$T = 80^{\circ}\text{C}$, $L = 800\text{ мм}$.

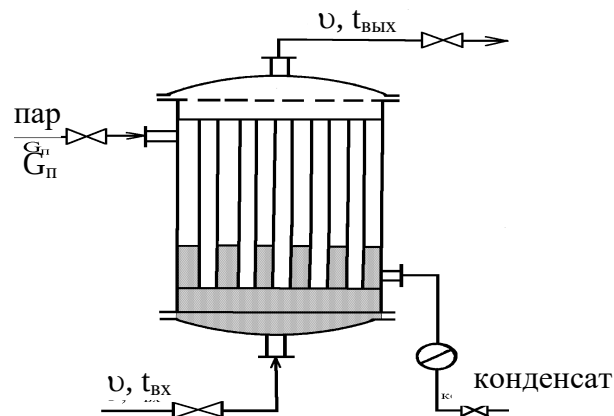


Предусмотреть: регулирование температуры в ванне; регулирование уровня в ванне; контроль расхода теплоносителя.

9. Разработать схему автоматизации с применением программно-логического контроллера, составить спецификацию на приборы и средства автоматизации.

Технологическая схема теплообменника.

$T = 65^{\circ}\text{C}$, $F = 45\text{ м}^3/\text{ч}$.



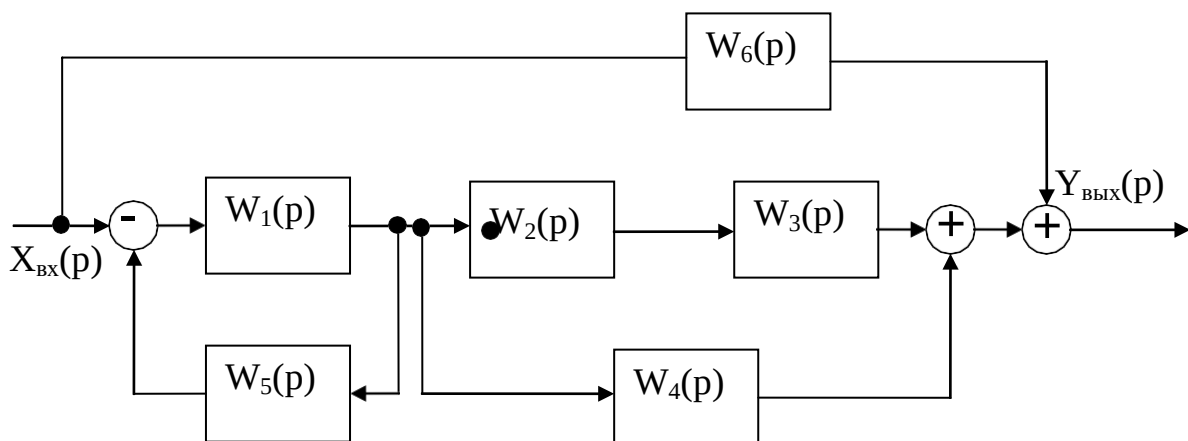
Предусмотреть: регулирование температуры среды на выходе теплообменника; регулирование расхода исходной среды на теплообменник; контроль расхода пара.

Таблица 1 – Коэффициенты характеристического уравнения.

№ варианта	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4
1	8	18	26	12	14
2	13	7	16	2	14
3	2	18	6	12	3
4	2	6	8	2	14
5	3	8	16	2	14
6	1	18	16	2	28
7	3	5	6	12	8
8	0	4	17	12	8
9	8	9	16	2	5
10	3	15	6	2	18
11	13	9	6	2	4
12	2	7	16	4	5
13	13	9	16	2	5
14	2	8	6	2	13
15	0	14	7	3	18
16	9	23	15	12	6
17	3	18	16	3	14
18	12	7	8	14	5
19	0	18	16	2	3
20	13	28	16	20	14
21	8	18	26	14	12
22	13	7	16	14	2
23	2	18	6	3	12
24	2	6	8	14	2
25	3	8	16	14	2
№ варианта	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4
26	1	18	16	28	2
27	3	5	6	8	12
28	5	4	17	8	12
29	8	9	16	5	2
30	3	15	6	18	2
31	13	9	6	4	2
32	2	7	16	5	4

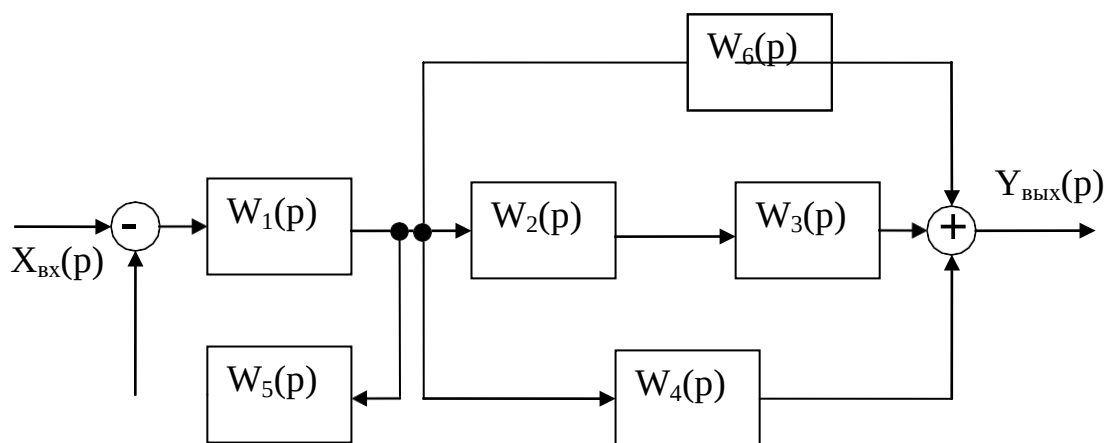
33	13	9	16	5	2
34	2	8	6	13	2
35	8	14	7	18	3
36	9	23	15	6	12
37	3	18	16	14	3
38	12	7	8	5	14
39	2	18	16	3	2
40	13	28	16	14	20
41	3	8	16	14	2
42	1	18	16	28	2
43	3	5	6	8	12
44	5	4	17	8	12
45	8	9	16	5	2
46	3	15	6	18	2
47	13	9	6	4	2
48	2	7	16	5	4
49	13	9	16	5	2
50	2	8	6	13	2

Приложение 1.

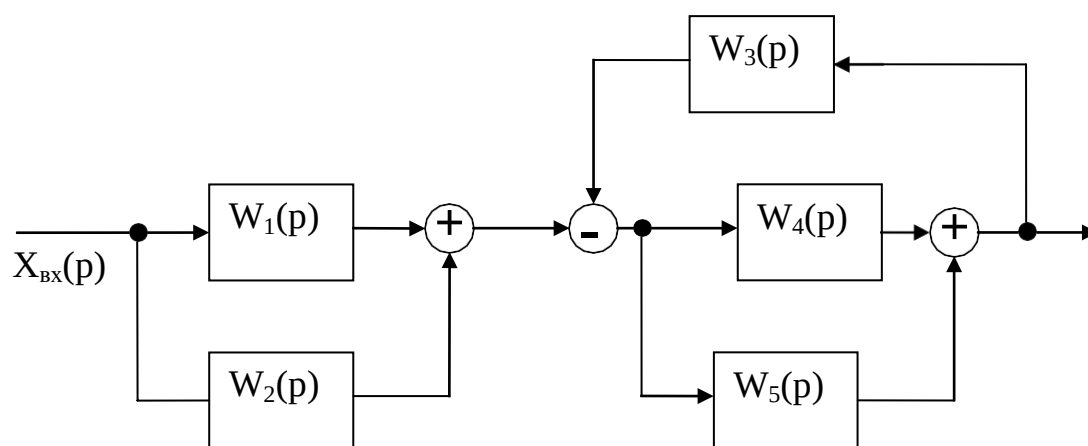


1

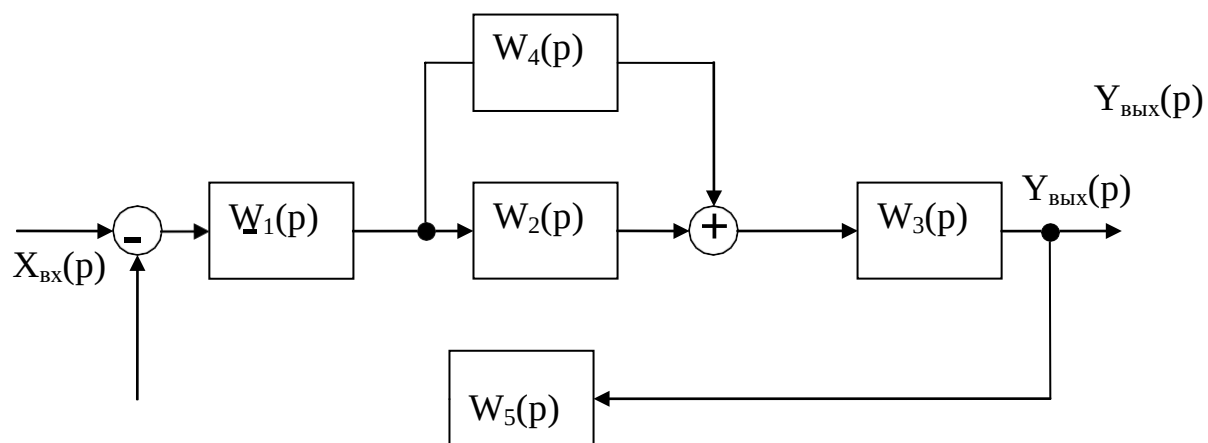
T



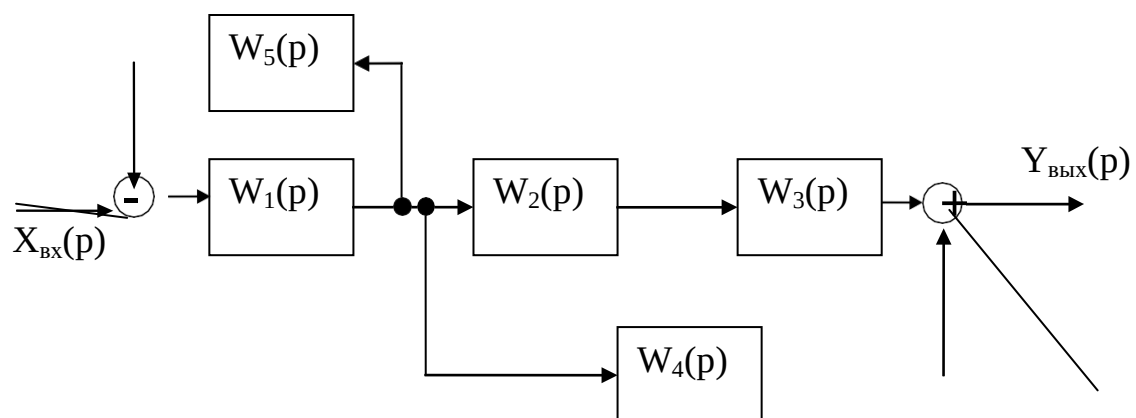
2



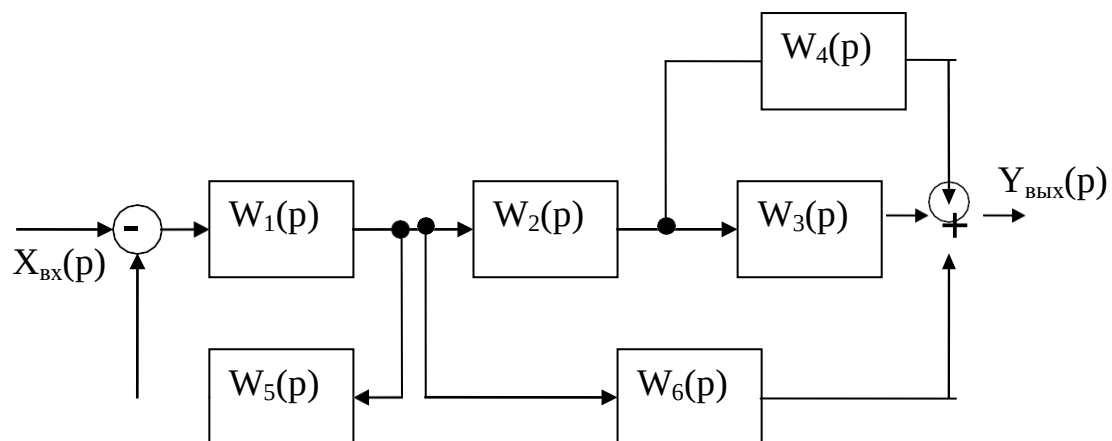
3



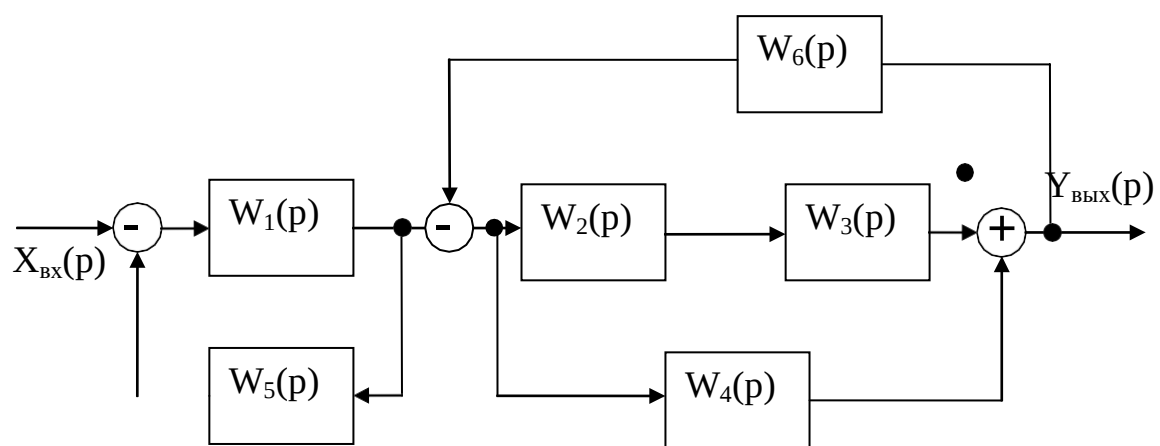
4



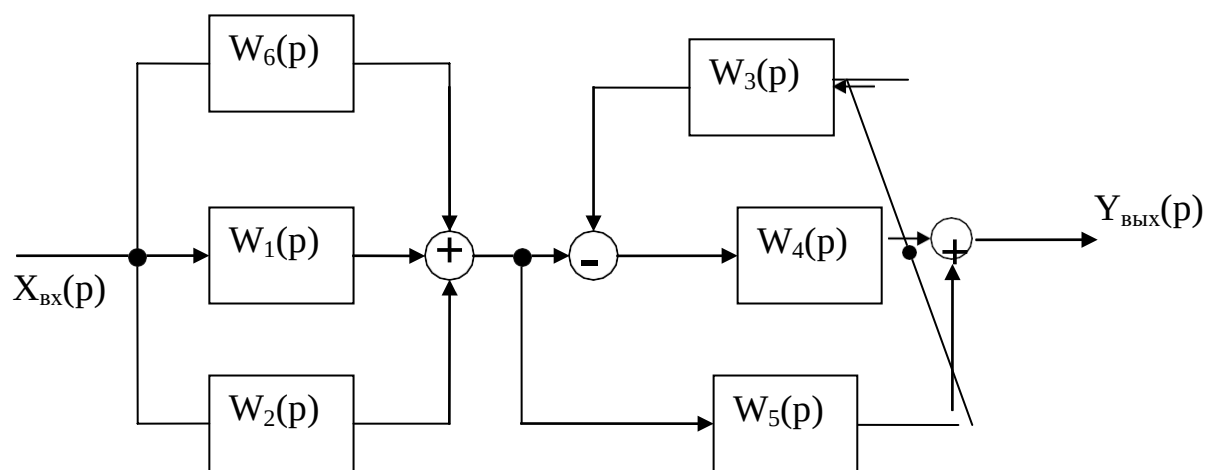
5



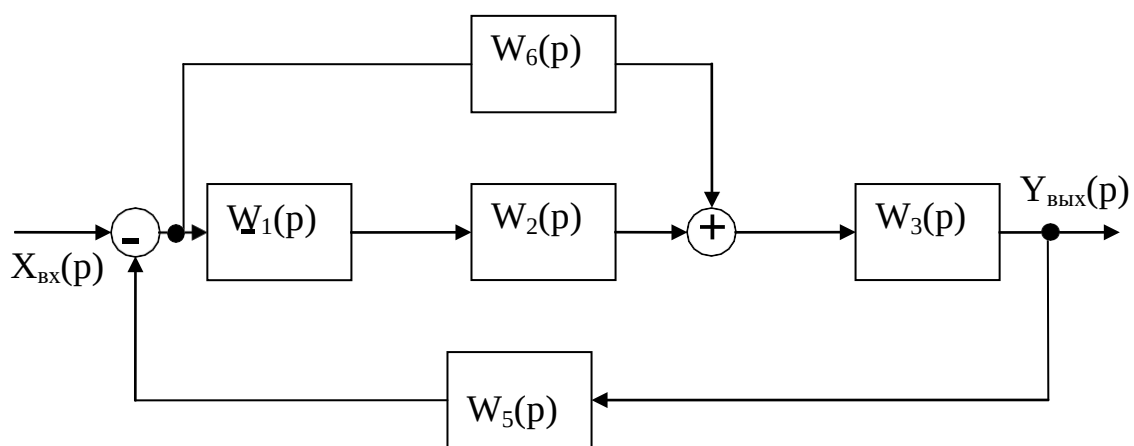
6



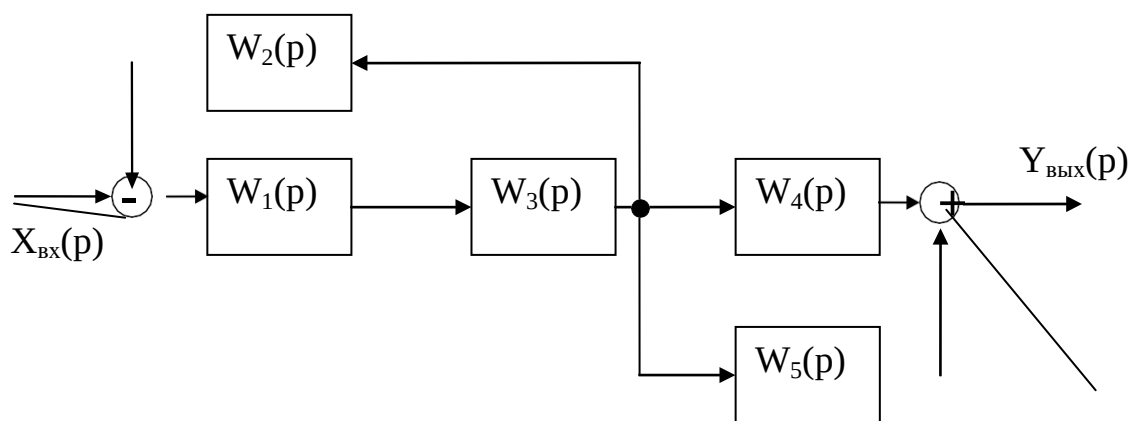
7



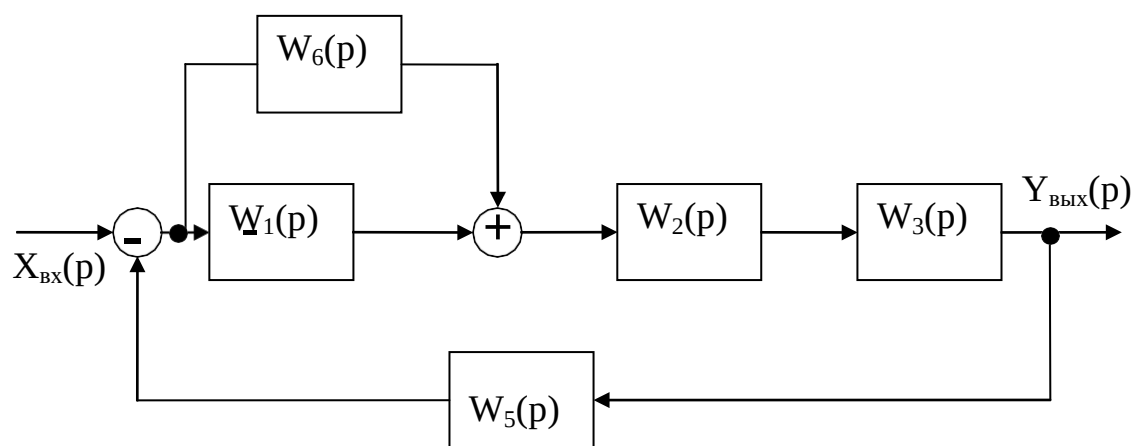
8



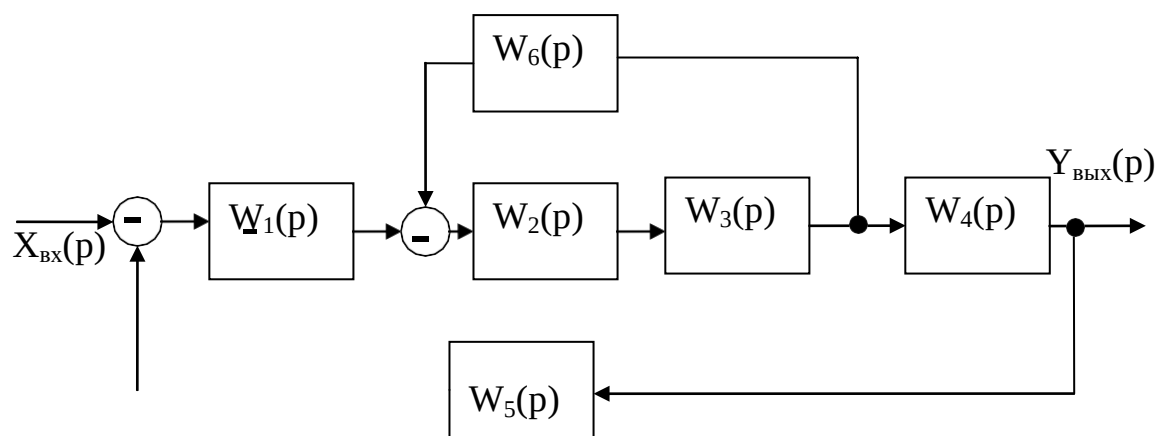
9



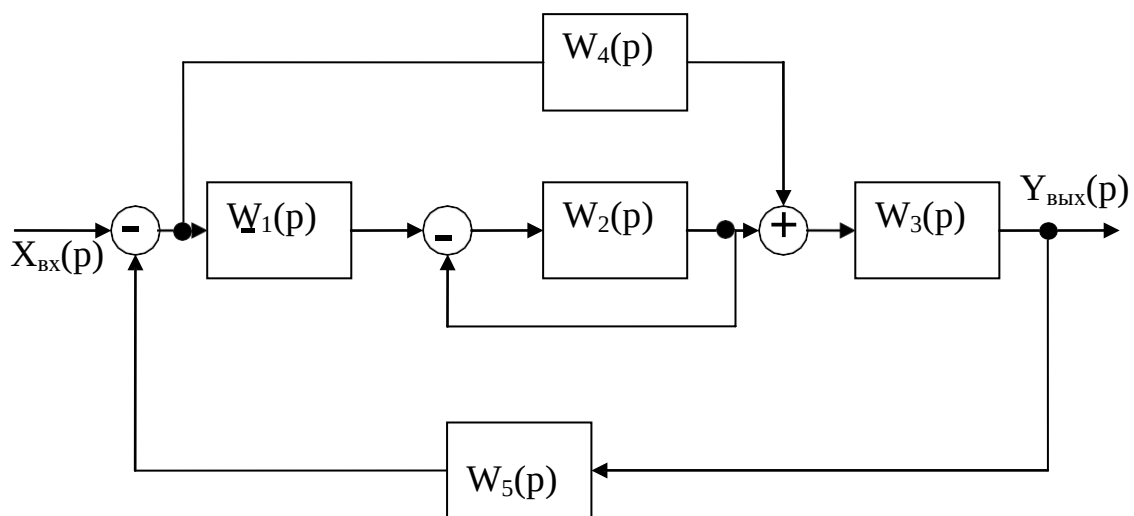
10



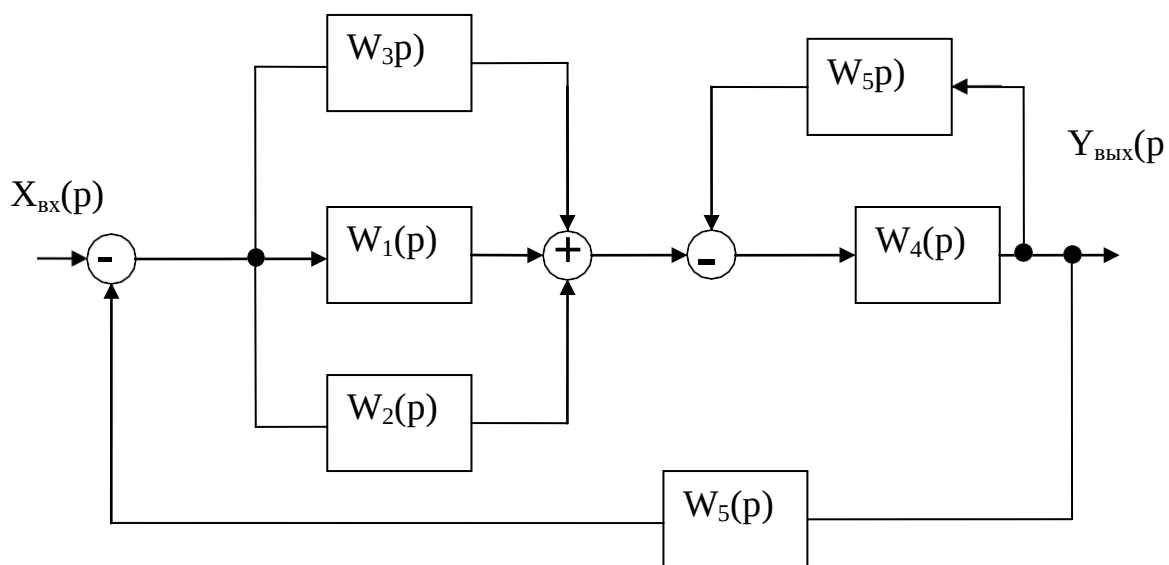
11



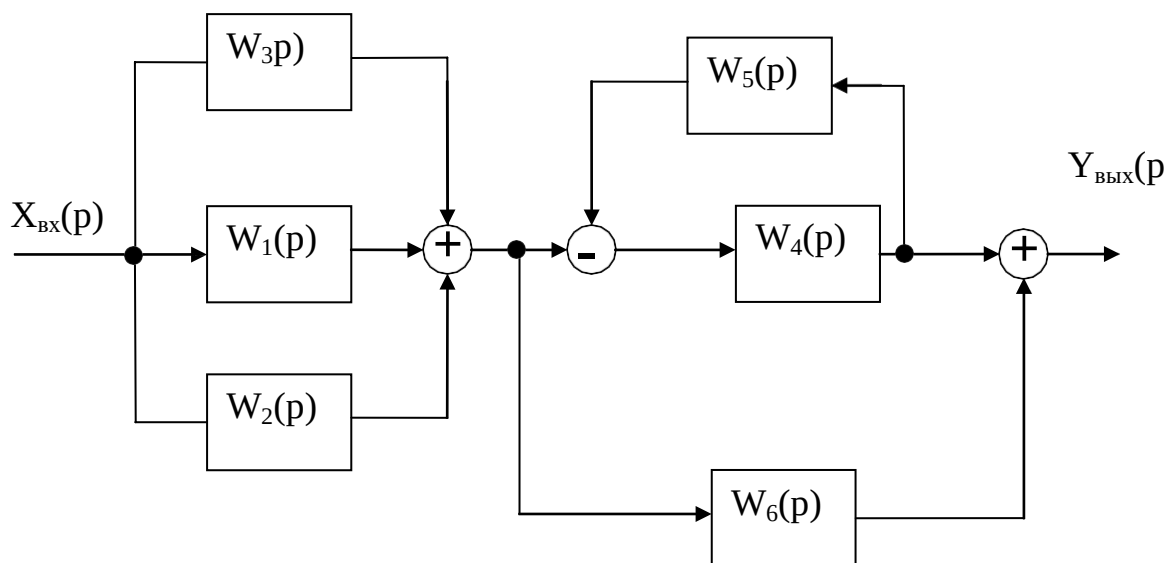
12



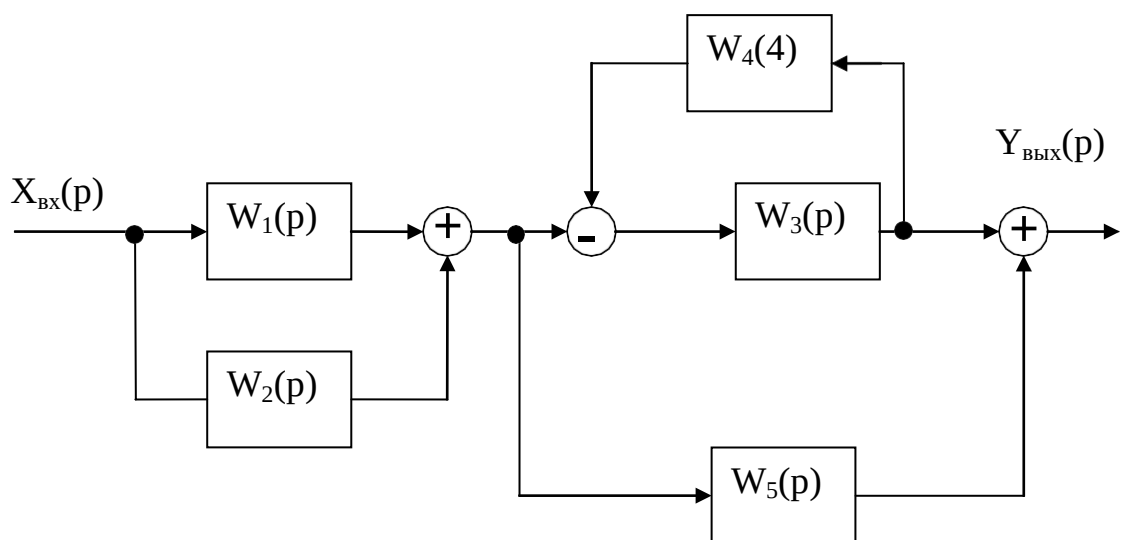
13



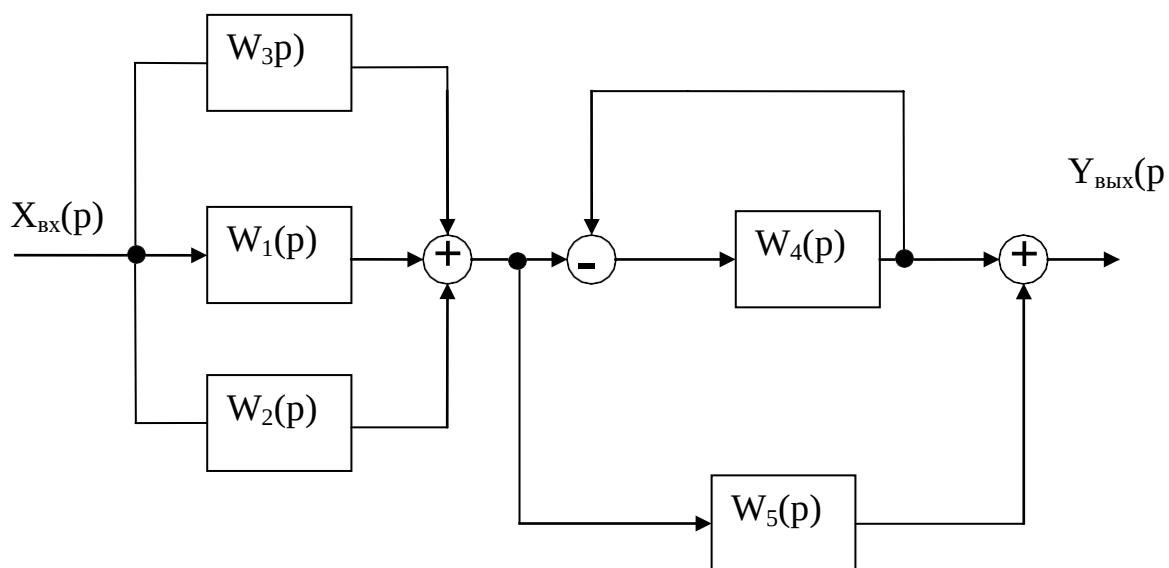
14



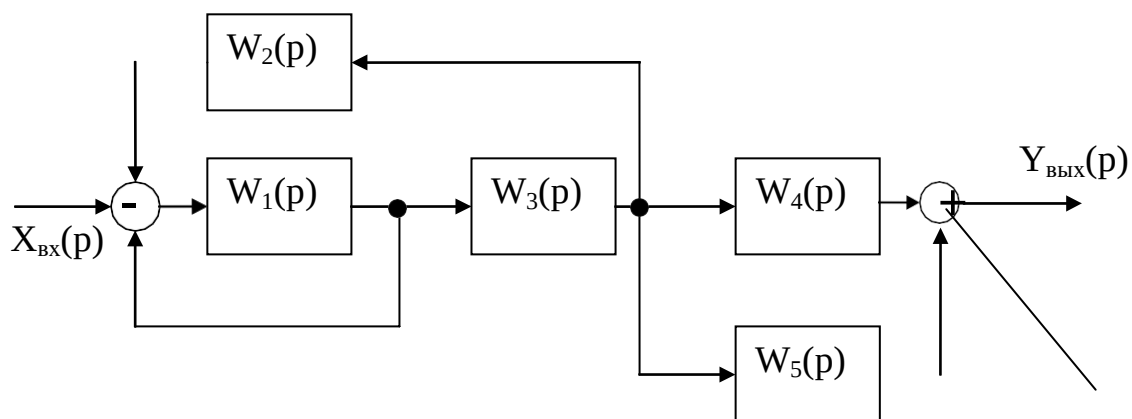
15



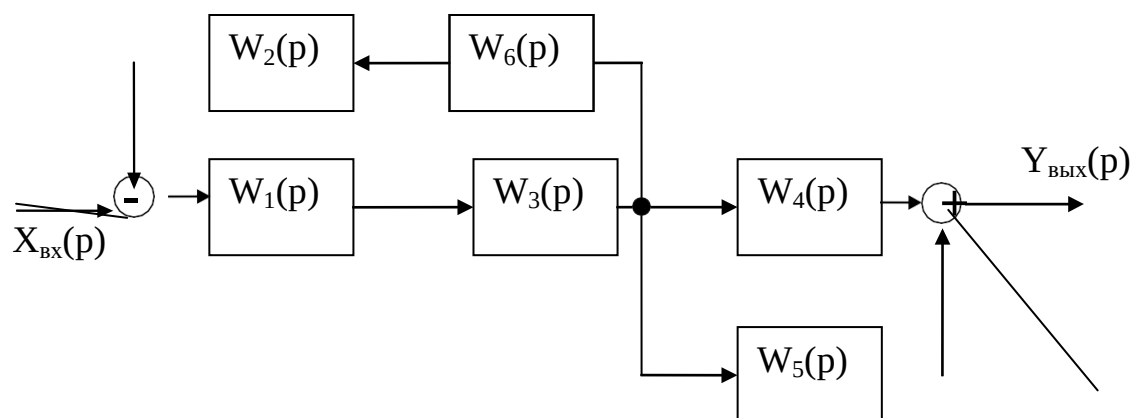
16



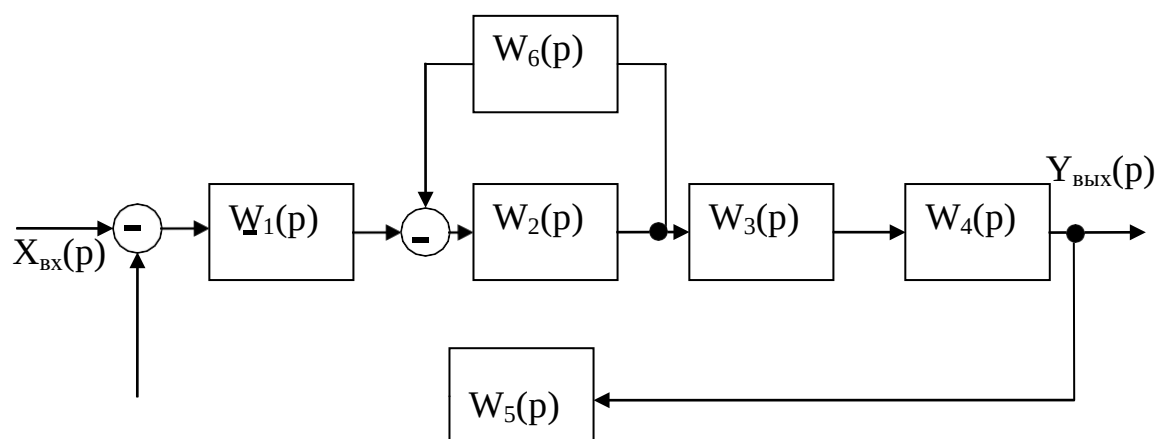
17



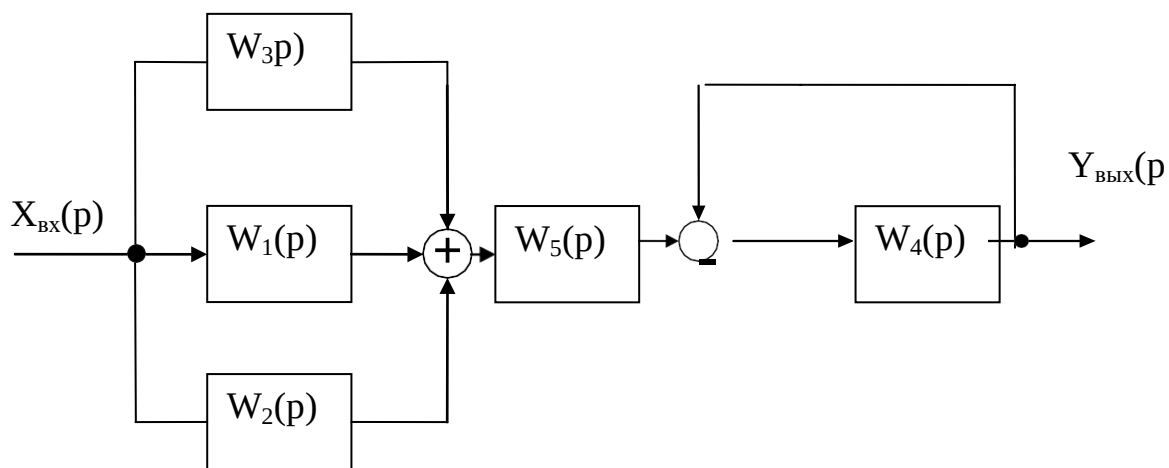
18



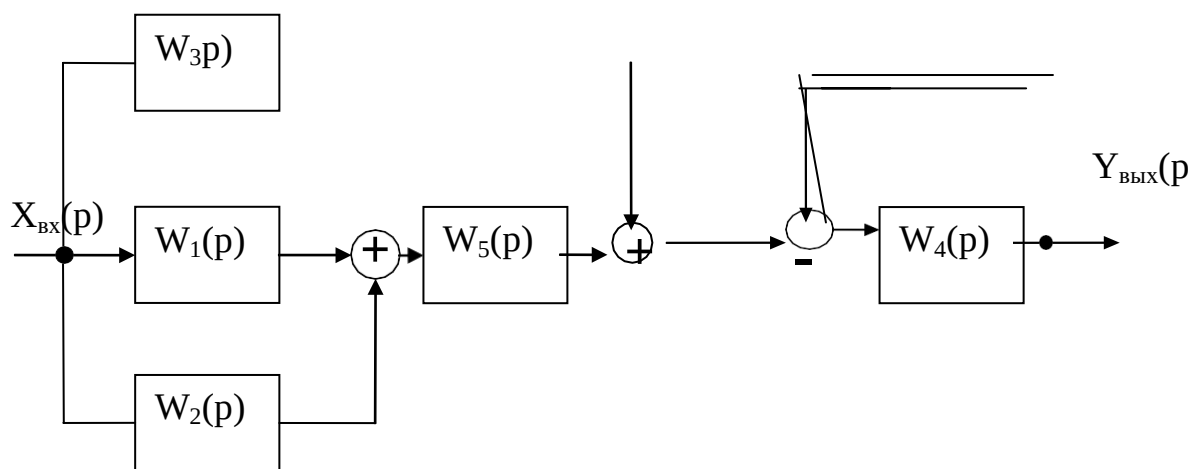
19



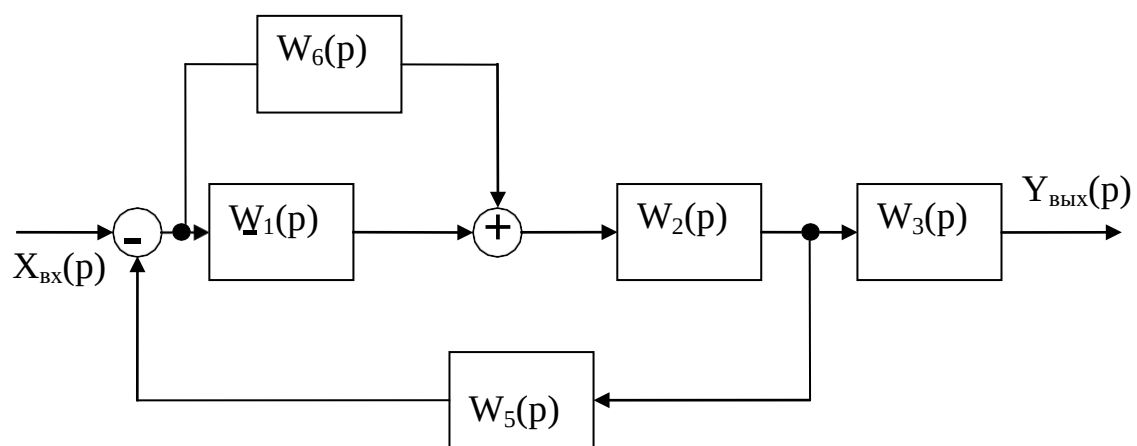
20



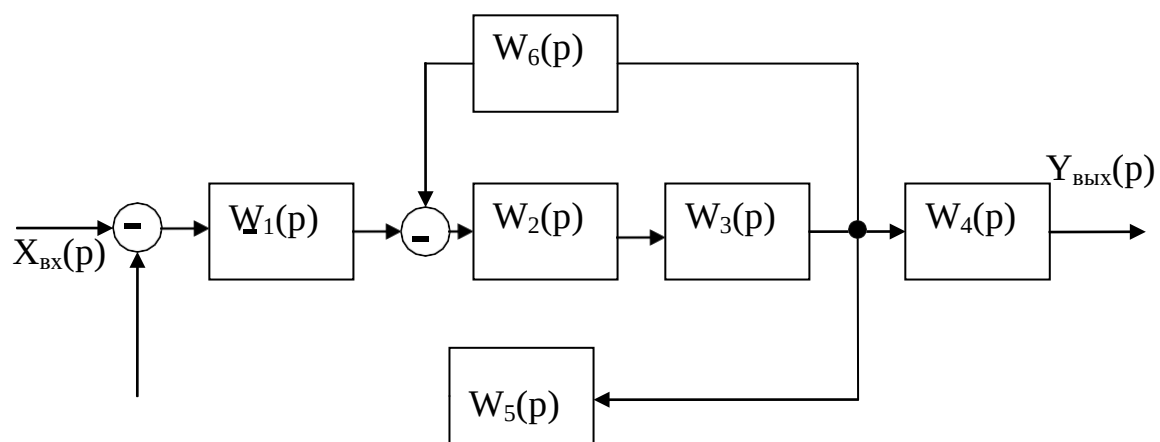
21



22



23



24

ПОРЯДОК ВЫБОРА ТЕМЫ И ОСВЕЩЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ

Исходные данные для расчетов заданий выдаются по многовариантным таблицам. Студент получает номер своего варианта заданий индивидуально. Предлагаемые к решению задания должны рассматриваться по мере прочтения лекционного материала. Ознакомившись с соответствующей литературой по рекомендуемому списку, студент приступает к выполнению работы.

СТРУКТУРА РАБОТЫ, ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЕЕ НАПИСАНИЮ

К оформлению самостоятельной работы предъявляются следующие требования:

1. Основные результаты, полученные при расчетах, оформляются в виде пояснительной записки, которая должна содержать титульный лист, исходные данные варианта. Структура самостоятельной работы должна соответствовать пунктам задания. Отдельные части должны иметь заголовки, комментарии и выводы. Записи и формулировки должны быть точными и ясными.

2. В ходе решения не следует изменять принятые изначально обозначения физических величин, а при численных значениях должны быть указаны единицы измерения. Графики и диаграммы рекомендуется выполнять в масштабе с указанием единиц измерения по координатным осям.

3. В конце пояснительной записки должен быть приведен список литературы, использованной при выполнении работы.

4. Пояснительная записка выполняется на листах формата А 4. Поля: верхнее и нижнее – 20 мм, левое – 30 мм, правое – 15 мм. Листы должны быть пронумерованы. Размер шрифта – 14, междустрочный интервал – полуторный. Условия заданий переписываются полностью. Схемы изображаются чертежными инструментами с соблюдением ГОСТов. Перед числовыми значениями указать номер варианта. Каждый этап решения расчетных задач содержит пояснения, формулу, постановку данных, результат расчета, единицу измерения найденных величин (в системе СИ). Вывод формул и уравнений, имеющих в литературе, в работе приводить не следует. Результаты расчета записываются с точностью до второй значащей цифры после запятой.

3.1 Последовательность выполнения задания 1

1.1. УСТОЙЧИВОСТЬ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ.

Прямой метод анализа устойчивости систем, основанный на вычислении корней характеристического уравнения, связан с необходимостью определения корней (вычисление корней просто лишь для характеристического уравнения первой и второй степени). Существуют общие выражения для корней уравнений третьей и четвертой степеней, но эти выражения громоздки и практически мало пригодны. Что же касается уравнений более высоких степеней, то для них вообще невозможно написать общие выражения для корней через коэффициенты характеристического уравнения. Поэтому весьма важное значение в инженерной практике приобретают правила, которые позволяют определять устойчивость системы без вычисления корней. Эти правила называют *критериями устойчивости*. С помощью критериев устойчивости можно не только установить, устойчива или нет система, но и выяснить, как влияют на устойчивость те или иные параметры и структурные изменения в системе.

1.2. КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ЛИНЕЙНЫХ САУ

Алгебраический критерий Гурвица.

Этот критерий позволяет, не решая уравнения, сказать, где на комплексной плоскости расположены его корни.

Традиционно коэффициенты характеристического уравнения переобозначают с возрастающим номером:

$$C_0 p^n + C_1 p^{n-1} + \dots + C_{n-1} p + C_n = 0. \quad (4.1.7)$$

Из коэффициентов характеристического уравнения n -го порядка строится сначала главный определитель Гурвица по следующему правилу: по главной диагонали определителя слева направо выписываются все коэффициенты

характеристического уравнения от C_1 до C_n в порядке возрастания индексов. Столбцы вверх от главной диагонали дополняются коэффициентами характеристического уравнения с последовательно возрастающими индексами, а столбцы вниз — коэффициентами с последовательно убывающими индексами. На место коэффициентов с индексами больше n (где n — порядок характеристического уравнения) и меньше нуля проставляют нули:

$$\Delta_n = \begin{vmatrix} C_1 & C_3 & C_5 & C_7 & \dots & 0 \\ C_0 & C_2 & C_4 & C_6 & \dots & 0 \\ 0 & C_1 & C_3 & C_5 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & C_n \end{vmatrix}.$$

Выделяя в главном определителе Гурвица диагональные миноры, получаем определитель Гурвица низшего порядка

$$\Delta_1 = |C_1|, \Delta_2 = \begin{vmatrix} C_1 & C_3 \\ C_0 & C_2 \end{vmatrix}, \Delta_3 = \begin{vmatrix} C_1 & C_3 & C_5 \\ C_0 & C_2 & C_4 \\ 0 & C_1 & C_3 \end{vmatrix}, \dots$$

Номер определителя Гурвица зависит от номера коэффициента по диагонали, до которого составляют данный определитель.

Определение: чтобы САУ была устойчива; необходимо и достаточно, чтобы определитель Гурвица и его диагональные миноры имели знаки, одинаковые со знаком первого коэффициента C_0 характеристического уравнения, т. е. были положительными, так как всегда C_0 можно выбрать положительным.

Таким образом, при $C_0 > 0$ для устойчивости системы необходимо и достаточно выполнение следующих условий:

$$\Delta_1 = |C_1| > 0, \Delta_2 = \begin{vmatrix} C_1 & C_3 \\ C_0 & C_2 \end{vmatrix} > 0, \Delta_3 = \begin{vmatrix} C_1 & C_3 & C_5 \\ C_0 & C_2 & C_4 \\ 0 & C_1 & C_3 \end{vmatrix} > 0, \dots$$

Условие нахождения системы на границе устойчивости — $\Delta_n = 0$. Но $\Delta_n = C_n \Delta_{(n-1)} = 0$, следовательно, если $C_n = 0$, то наблюдается апериодическая граница устойчивости (нулевой корень — астатическая система), а если $\Delta_{(n-1)} = 0$, то — колебательная граница устойчивости (комплексные корни).

Критерий Рауса.

Как и критерий Гурвица, этот критерий представляет собой систему неравенств, составленных по особым правилам из коэффициентов характеристического уравнения замкнутой системы. Он представляет собой некоторое правило (алгоритм). Мнемоническое правило связано с составлением таблицы Рауса.

Составляем таблицу Рауса.

Коэффициент λ_k	Номер строки	Номер столбца				
		1	2	3	4	5
	1	C_0	C_2	C_4	C_6	...
	2	C_1	C_3	C_5	...	
$\lambda_3 = \frac{C_{1,1}}{C_{1,2}} = \frac{C_0}{C_1}$	3	$C_{1,3}$	$C_{2,3}$	$C_{3,3}$	...	
$\lambda_4 = \frac{C_{1,2}}{C_{1,3}} = \frac{C_1}{C_{1,3}}$	4	$C_{1,4}$	$C_{2,4}$	$C_{3,4}$	...	
$\lambda_5 = \frac{C_{1,3}}{C_{1,4}} \quad \text{—}$	5	$C_{1,5}$	$C_{2,5}$	$C_{3,5}$	...	
...	6	$C_{1,6}$	...	...		

В первой строке таблицы записывают коэффициенты C_i характеристического уравнения, имеющие четный индекс ($C_0, C_2, C_4, \dots$), а во второй строке — коэффициенты характеристического уравнения с нечетными индексами ($C_1, C_3, C_5, \dots$). В последующие строки вписывают элементы определенные по формуле

$$C_{k,i} = C_{k+1,i-2} - \lambda_i \cdot C_{k+1,i-1}, \quad (4.1.8)$$

где коэффициент $\lambda_i = \frac{C_{1,i-2}}{C_{1,i-1}}$; $C_{k,i}$ — элемент таблицы; i — индекс, означающий номер строки таблицы; k — индекс, обозначающий номер столбца таблицы. Число строк таблицы Рауса равно степени характеристического уравнения +1, т. е. $(n+1)$. После заполнения таблицы по ней можно судить об устойчивости системы.

Сформулируем критерий Рауса: для того, чтобы система автоматического управления или регулирования была устойчива, необходимо и достаточно, чтобы элементы первого столбца таблицы Рауса имели один и тот же знак, т. е. были положительными, так как всегда можно сделать $C_0 > 0$: $C_0 > 0$, $C_1 > 0$, $C_{1,3} > 0$, ..., $C_{1,n+1} > 0$.

Так как форма алгоритма, с помощью которого составляют таблицу Рауса, очень удобна для программирования на ЭВМ, то критерий Рауса широко применяют при исследовании с помощью ЭВМ влияния на устойчивость либо коэффициентов характеристического уравнения, либо отдельных параметров системы.

Частотные критерии устойчивости

Частотные критерии устойчивости получили наиболее широкое практическое применение, т. к., во-первых, они позволяют судить об устойчивости замкнутой системы по более простой передаточной функции разомкнутой системы $W(p)$; во-вторых, анализ устойчивости можно выполнить и по экспериментально определенным частотным характеристикам; в третьих, с помощью частотных характеристик можно судить о качестве переходных процессов в системах.

Критерий устойчивости Михайлова

В 1938 г. советский ученый А. В. Михайлов предложил графический критерий устойчивости, суть которого заключается в следующем. Критерий позволяет судить об устойчивости системы регулирования по характеру поведения годографа ее характеристического уравнения.

Если характеристическое уравнение замкнутой САУ имеет вид

$$C_0 p^n + C_1 p^{n-1} + \dots + C_{n-1} p + C_n = 0. \quad (4.1.9)$$

Из характеристического многочлена $D(p)$, представляющего собой левую часть уравнения (4.1.9), получим функцию мнимого аргумента. Для этого, представив левую часть этого уравнения в виде функции от p :

$$D(p) = C_0 p^n + C_1 p^{n-1} + \dots + C_{n-1} p + C_n. \quad (4.1.10)$$

и заменив операторное число p на $j \cdot \omega$, где $j = \sqrt{-1}$ – мнимая единица, получим уравнение комплексного вектора

$$D(j\omega) = C_0(j\omega)^n + C_1(j\omega)^{n-1} + \dots + C_{n-1}(j\omega) + C_n. \quad (4.1.11)$$

В геометрической интерпретации $D(j\omega)$ представляет собой вектор в плоскости комплексного переменного. При изменении угловой частоты колебаний ω вектор $D(j\omega)$ поворачивается относительно начала координат, меняя при этом свою длину. Кривая, описываемая концом вектора на комплексной плоскости при изменении угловой частоты колебаний от нуля до бесконечности $D(j\omega)$, называется *годографом характеристического уравнения* (эта кривая называется кривой Михайлова).

Для построения кривой Михайлова необходимо выделить действительную и мнимую части $D(j\omega)$:

$$D(j\omega) = U(\omega) + j \cdot V(\omega) = A(\omega)e^{j\varphi(\omega)},$$

где вещественная частотная часть содержит четные степени

$$U(\omega) = C_n - C_{n-2} \cdot \omega^2 + C_{n-4} \cdot \omega^4 - C_{n-6} \cdot \omega^6 + \dots, \quad (4.1.12)$$

а мнимая – нечетные

$$V(\omega) = C_{n-1} \cdot \omega - C_{n-3} \cdot \omega^3 + C_{n-5} \cdot \omega^5 - C_{n-7} \cdot \omega^7 + \dots. \quad (4.1.13)$$

Далее, задаваясь разными значениями $\omega_1, \omega_2, \omega_3 \dots$ по формулам (4.1.12) и (4.1.13) вычислим координаты точек годографа. При $\omega \rightarrow \infty$ функция $D(j\omega)$ тоже неограниченно возрастает.

Критерий Михайлова формируется следующим образом. Система n -го порядка будет устойчива, если годограф $D(j\omega)$, начинаясь на действительной положительной оси, огибает, против часовой стрелки начало координат, проходя последовательно n квадрантов. Для устойчивых САУ кривая Михайлова всегда имеет плавную спиралевидную форму, уходящую в бесконечность в квадранте комплексной плоскости, номер которого соответствует степени характеристического уравнения. Больше, чем n квадрантов, кривая Михайлова вообще не

может пройти. Неустойчивость системы всегда связана с нарушением последовательного обхода квадрантов кривой Михайлова.

Вывод. Система автоматического регулирования, имеющая характеристический многочлен $D(p)$, будет устойчива, т. е. чтобы все корни характеристического уравнения $C_0 p^n + C_1 p^{n-1} + \dots + C_{n-1} p + C_n = 0$: имели отрицательные вещественные части, необходимо чтобы после подстановки частоты в соответствующий характеристический многочлен $D(p)$ полное приращение его фазы при изменении ω от 0 до ∞ составляло $n\pi/2$, где: n – степень многочлена $D(p)$.

Если полное приращение $\Delta\varphi(\omega)$ меньше n , — система неустойчива. Это значит, что часть корней $D(p)$ лежит справа от мнимой оси. В этом случае полное приращение фазы $\Delta\varphi(\omega)$

$$\Delta\varphi(\omega) = (n - k) \frac{\pi}{2} - k \frac{\pi}{2} = (n - 2k) \frac{\pi}{2},$$

где k — количество корней, лежащих справа от мнимой оси.

1.3. ПЕРЕДАТОЧНАЯ ФУНКЦИЯ ЗАМКНУТОЙ СИСТЕМЫ

Передаточную функцию замкнутой системы можно найти по передаточной функции разомкнутой системы. Так, если в замкнутой цепи обратной связи включено звено с передаточной функцией $W(p)$, то на входе системы происходит суммирование входного сигнала с сигналом обратной связи (рис.3.1а).

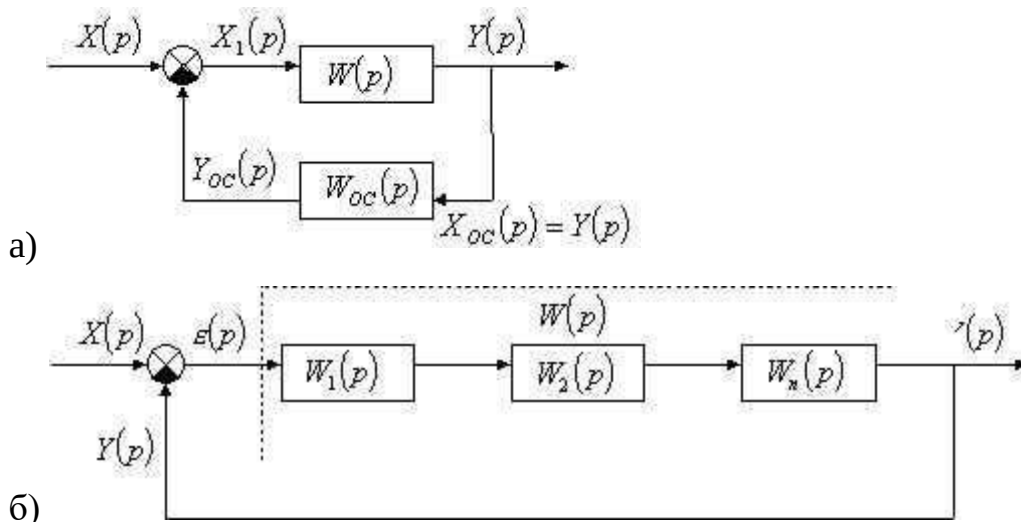


Рисунок 3.1 – Замкнутая система

Связь между изображением входной и выходной величины цепей прямой и обратной связи при отрицательной обратной связи, характеризуется следующими уравнениями:

для прямой связи

где	$Y(p) = W(p)X_1(p) = W(p)[X(p) - Y_{oc}(p)]$	(3.1)
-----	--	-------

$W(p)$

– передаточная функция прямой цепи;

для обратной связи

где	$Y_{oc}(p) = W_{oc}(p)X_{oc}(p) = W_{oc}(p)Y(p)$	(3.2)
-----	--	-------

$W_{oc}(p)$

- передаточная функция цепи обратной связи.

Если в уравнение (3.1) подставить значение $Y_{oc}(p)$ из (3.2), то получим

$$Y(p) = W(p)[X(p) - W_{oc}(p)Y(p)]$$

или

$$Y(p)[1 + W(p)W_{oc}(p)] = W(p)X(p)$$

откуда можно получить выражение для передаточной функции замкнутой системы

$W_3(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{W(p)}{1 + W(p) \cdot W_{oc}(p)}$	(3.3)
--	-------

Част

ным случаем является замкнутая система (рис.3.1), не содержащая звеньев в цепи обратной связи. В этом случае цепь обратной связи имеет передаточную функцию, равную единице, и тогда, используя уравнение (3.3), находим

$W_3(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{W(p)}{1 + W(p)}$	(3.4)
--	-------

3 Порядок выбора темы и освещение проблемы

Исходные данные для расчетов по заданиям выдаются по многовариантным исходным данным. Студент выбирает номер своего варианта по двум последним цифрам зачетки. Ознакомившись с соответствующей литературой по рекомендуемому списку, студент приступает к выполнению контрольной работы.

К оформлению работы предъявляются следующие требования:

1. Основные результаты, полученные при расчетах, оформляются в виде пояснительной записки. Рисунки, графики и схемы (в том числе и заданные условием задачи) должны быть выполнены в соответствии с ГОСТ.

2. Пояснительная записка выполняется на листах формата А4. Поля: верхнее и нижнее – 20 мм, левое – 30 мм, правое – 15 мм. Листы должны быть пронумерованы. Размер шрифта – 14, межстрочный интервал – полуторный. Титульный лист оформляется по стандартному образцу.

3. Пояснительная записка должна содержать тексты заданий, схемы и исходные данные расчетного варианта.

4. Перед решением заданий необходимо указать, какие расчетные методы предполагается использовать, привести математическую запись этих законов и методов. Расчетную часть работы рекомендуется выполнить с применением математических оболочек и в конце текста необходимо прилагать распечатки, отражающие машинный расчет.

5. Структура самостоятельной работы должна соответствовать пунктам задания. Отдельные части должны иметь заголовки, комментарии и выводы. Записи и формулировки должны быть точными и ясными. При решении задачи различными методами одну и ту же величину необходимо обозначать

одинаковыми буквенным символом, а при численных значениях должны быть указаны единицы измерения. Графики, диаграммы и эскизы рекомендуется выполнять в масштабе с указанием единиц измерения по координатным осям. В конце пояснительной записки должен быть приведен список использованных источников.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО КОНСПЕКТИРОВАНИЮ ПЕРВОИСТОЧНИКОВ

Конспектирование – процесс мысленной переработки и письменной фиксации информации, в виде краткого изложения основного содержания, смысла какого-либо текста.

Результат конспектирования – запись, позволяющая конспектирующему немедленно или через некоторый срок с нужной полнотой восстановить полученную информацию. Конспект в переводе с латыни означает «обзор». По существу его и составлять надо как обзор, содержащий основные мысли текста без подробностей и второстепенных деталей. Конспект носит индивидуализированный характер: он рассчитан на самого автора и поэтому может оказаться малопонятным для других.

Для того чтобы осуществлять этот вид работы, в каждом конкретном случае необходимо грамотно решить следующие задачи:

1. Сориентироваться в общей композиции текста (уметь определить вступление, основную часть, заключение).
2. Увидеть логико-смысловую канву сообщения, понять систему изложения автором информации в целом, а также ход развития каждой отдельной мысли.
3. Выявить «ключевые» мысли, т. е. основные смысловые вехи, на которые «нанизано» все содержание текста.
4. Определить детализирующую информацию.
5. Лаконично сформулировать основную информацию, не перенося на письмо все целиком и дословно.

Во всяком научном тексте содержится информация 2-х видов: основная и вспомогательная. Основной является информация, имеющая наиболее существенное значение для раскрытия содержания темы или вопроса. К ней относятся: определения научных понятий, формулировки законов, теоретических принципов и т. д. Назначение вспомогательной информации – помочь читателю лучше усвоить предлагаемый материал. К этому типу информации относятся разного рода комментарии. Основную – записываем как можно полнее,

вспомогательную, как правило, опускаем. Содержание конспектирования составляет переработка основной информации в целях ее обобщения и сокращения. Обобщить – значит представить ее в более общей, схематической форме, в виде тезисов, выводов, отдельных заголовков, изложения основных результатов и т. п. Читая, мы интуитивно используем некоторые слова и фразы в качестве опорных. Такие опорные слова и фразы называются ключевыми. Ключевые слова и фразы несут основную смысловую и эмоциональную нагрузку содержания текста.

Выбор ключевых слов – это первый этап смыслового свертывания, смыслового сжатия материала.

Важными требованиями к конспекту являются наглядность и обозримость записей и такое их расположение, которое давало бы возможность уяснить логические связи и иерархию понятий.

По форме конспекты подразделяются на формализованные и графические.

1. Формализованные (все записи вносятся в заранее подготовленные таблицы).

Это удобно, во-первых, при конспектировании материалов, когда перечень характеристик описываемых предметов или явлений более или менее постоянен, во-вторых, при подготовке единого конспекта по нескольким источникам. Особенно если есть необходимость сравнения отдельных данных. Разновидностью формализованного конспекта является запись, составленная в форме ответов на заранее подготовленные вопросы, обеспечивающие исчерпывающие характеристики однотипных предметов или явлений.

2. Графические (элементы конспектируемой работы располагаются в таком виде, при котором видна иерархия понятий и взаимосвязь между ними).

По каждой работе может быть не один, а несколько графических конспектов, отображающих книгу в целом и отдельные ее части. Ведение графического конспекта - наиболее совершенный способ изображения внутренней структуры книги, а сам этот процесс помогает усвоению ее содержания.

Можно выделить следующие основные **типы конспектов: плановый, текстуальный, сводный, тематический.**

Плановый – легко получить с помощью предварительно сделанного плана произведения, каждому вопросу плана отвечает определенная часть конспекта:

а) вопросно-ответный (на пункты плана, выраженные в вопросительной форме, конспект дает точные ответы);

б) схематичный плановый конспект (отражает логическую структуру и взаимосвязь отдельных положений).

Текстуальный – это конспект, созданный в основном из цитат.

Сводный конспект – сочетает выписки, цитаты, иногда тезисы; часть его текста может быть снабжена планом.

Тематический – дает более или менее исчерпывающий ответ (в зависимости из числа привлеченных источников и другого материала, например, своих же записей) на поставленный вопрос – тему: обзорный; хронологический.

Роль конспекта – чисто учебная: он помогает зафиксировать основные понятия и положения первичного текста и в нужный момент их воспроизвести, например, при написании реферата или подготовке к экзамену.

Способы конспектирования.

- **Тезисы** – это кратко сформулированные основные мысли, положения изучаемого материала. Тезисы лаконично выражают суть читаемого, дают возможность раскрыть содержание. Приступая к освоению записи в виде тезисов, полезно в самом тексте отмечать места, наиболее четко формулирующие основную мысль, которую автор доказывает (если, конечно, это не библиотечная книга). Часто такой отбор облегчается шрифтовым выделением, сделанным в самом тексте.

- **Линейно-последовательная запись текста.** При конспектировании линейно – последовательным способом целесообразно использование плакатно-оформительских средств, которые включают в себя следующие:

- сдвиг текста конспекта по горизонтали, по вертикали;
- выделение жирным (или другим) шрифтом особо значимых слов;
- использование различных цветов;
- подчеркивание;
- заключение в рамку главной информации.

- **Способ «вопросов – ответов».** Он заключается в том, что, поделив страницу тетради пополам вертикальной чертой, конспектирующий в левой части страницы

самостоятельно формулирует вопросы или проблемы, затронутые в данном тексте, а в правой части дает ответы на них.

Одна из модификаций способа «вопросов – ответов» - таблица, где место вопроса занимает формулировка проблемы, поднятой автором (лектором), а место ответа – решение данной проблемы. Иногда в таблице могут появиться и дополнительные графы: например, «мое мнение» и т. п.

- **Схема с фрагментами** – способ конспектирования, позволяющий ярче выявить структуру текста, - при этом фрагменты текста (опорные слова, словосочетания, пояснения всякого рода) в сочетании с графикой помогают созданию рационально - лаконичного конспекта.

- **Простая схема** – способ конспектирования, близкий к схеме с фрагментами, объяснений к которой конспектирующий не пишет, но должен уметь давать их устно. Этот способ требует высокой квалификации конспектирующего. В противном случае такой конспект нельзя будет использовать.

- **Параллельный способ** конспектирования. Конспект оформляется на двух листах параллельно или один лист делится вертикальной чертой пополам и записи делаются в правой и в левой части листа.

Однако лучше использовать разные способы конспектирования для записи одного и того же материала.

Комбинированный конспект – вершина овладения рациональным конспектированием. При этом умело используются все перечисленные способы, сочетая их в одном конспекте (один из видов конспекта свободно перетекает в другой в зависимости от конспектируемого текста, от желания и умения конспектирующего). Именно при комбинированном конспекте более всего проявляется уровень подготовки и индивидуальность студента.

Принципы составления конспекта прочитанного.

1. Записать все выходные данные источника: автор, название, год и место издания. Если текст взят из периодического издания (газеты или журнала), то записать его название, год, месяц, номер, число, место издания.

2. Выделить поля слева или справа, можно с обеих сторон. Слева на полях отмечаются страницы оригинала, структурные разделы статьи или книги (названия

параграфов, подзаголовки и т. п.), формулируются основные проблемы. Справа – способы фиксации прочитанной информации.

Один из видов чтения – углубленное – предполагает глубокое усвоение прочитанного и часто сохранение информации в целях последующего обращения к ней. Эффективность такого чтения повышается, если прочитанное зафиксировано не только в памяти, но и на бумаге. Психологи утверждают, что записанное лучше и полнее усваивается, прочнее откладывается в памяти. Установлено, что если прочитать 1000 слов и затем записать 50, подытоживающих прочитанное, то коэффициент усвоения будет выше, чем, если прочитать 10000 слов, не записав ни одного. Кроме того, при записи прочитанного формируется навык свертывания информации. И, наконец, чередование чтения и записывания уменьшает усталость, повышает работоспособность и производительность умственного труда.

1. Резюмирование.

Резюме – краткий итог прочитанного, содержащий его оценку. Резюме характеризует основные выводы книги, главные итоги.

Выбор языковых средств для построения резюме-выводов подчинен основной задаче свертывания информации: минимум языковых средств – максимум информации. Это обычно одно – три четких, кратких, выразительных предложения, раскрывающих, по мнению автора, самую суть описываемого объекта.

2. Аннотация.

Аннотация – краткая обобщенная характеристика печатной работы (книги, статьи), включающая иногда и его оценку. Это наикратчайшее изложение содержания первичного документа, дающее общее представление о теме.

Основное ее назначение – дать некоторое представление о книге (статье, научной работе) с тем, чтобы рекомендовать ее определенному кругу читателей или воспользоваться своими записями при выполнении работы исследовательского, реферативного характера. Поэтому аннотации не требуется изложения содержания произведения, в ней лишь перечисляются вопросы, которые освещены в первоисточнике (содержание этих вопросов не раскрывается). Аннотация отвечает

на вопрос: «О чем говорится в первичном тексте?», дает представление только о главной теме и перечне вопросов, затрагиваемых в тексте первоисточника.

Текст аннотации не стандартизирован. В научной литературе можно встретить различные требования к составлению аннотаций. Например, текст справочной аннотации может включать следующие сведения:

- тип и название аннотируемого документа (монография, диссертация, сборник, статья и т. п.)
- задачи, поставленные автором аннотируемого документа
- метод, которым пользовался автор (эксперимент, сравнительный анализ, компиляция других источников)
- принадлежность автора к определенной научной школе или направлению
- структуру аннотируемого документа
- предмет и тему произведения, основные положения и выводы автора
- характеристику вспомогательных иллюстративных материалов, дополнений, приложений, справочного аппарата, включая указатели и библиографию.

Форма отчетности о результатах самостоятельной работы по дисциплине

- отчет по домашней работе;
- конспект первоисточников;
- тест

4 Список рекомендуемой литературы

Основная литература:

1. Теория автоматического управления : учеб. пособие / М.М. Савин, В.И. Лачина. – Ростов н/Д : Феникс, 2012. – 469 с.
2. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. – СПб., Профессия, 2009. – 752 с.
3. Теория автоматического управления с практикумом/ Н.В. Корнеев, Ю.С.Кустарёв, Ю.Я. Морговский. – М.: Издательский центр «Академия», 2011, – 224 с.
4. Беспалов А.В., Харитонов Н.И. Системы управления химико-технологическими процессами. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2010. – 690 с.

Список дополнительной литературы

1. Иващенко Н.И. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем. – М., 2000г.
2. Кулаков М.В. Технологические измерения и приборы для химических производств. – М.: Химия, 2002г.
3. Шувалов В.В. Автоматизация производственных процессов химической промышленности. – М.: Химия, 1999г.
4. Теория автоматического управления/ Под редакцией Ю.М. Соломенцева. – М.: Высшая школа, 1999.
5. Беспалов А.В., Харитонов Н.И. Задачник по системам управления химико-технологическими процессами. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007.

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ
КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ**

Методические указания по выполнению
схемы автоматизации

Направление подготовки	18.03.01 Химическая технология
Направленность (профиль)	Основной органический и нефтехимический синтез
Форма обучения	Очная
Год начала обучения	2026
Реализуется	7 семестре

Схема автоматизации (СА)

Схема автоматизации является основным техническим документом, определяющим структуру и функциональные связи между технологическим процессом и средствами контроля и управления. На схеме показывают с помощью условных обозначений:

- основное технологическое оборудование;
- коммуникации потоков жидкостей, газов и пара
- приборы и средства автоматизации

Изображение технологического оборудования на ФСА должно соответствовать его действительной конфигурации, оно изображается упрощенно, без масштаба и второстепенных конструкций.

На стадии «рабочие чертежи» разрабатывается следующая техническая документация:

- структурные и функциональные схемы автоматических систем;
- принципиальные электрические, гидравлические, пневматические схемы управления, регулирования, блокировки, сигнализации, а также электрические схемы питания;
- общие виды и монтажные схемы щитов и пунктов;
- схемы внешних электрических трубных проводок, а также их монтажные чертежи;
- чертежи установки аппаратуры, щитов и пультов;

В функциональных схемах автоматизации, последовательности буквенных обозначений должно быть следующей:

1. обозначение основной измеряемой величины;
2. обозначение, дополнительное (уточняющее основную) измеряемую величину;
3. обозначение функционального признака прибора.



Схема построения кода условного обозначения прибора систем автоматизации. Функциональные признаки, если несколько в одном приборе, то порядок расположения следующий : I, R, C, S, A.

В нижней части окружности, наносится обозначение позиций (цифровые или буквенно-цифровые).

Функциональная схема автоматического контроля и управления предназначена для отображения основных технических решений, принимаемых при проектировании систем автоматизации технологических процессов.

При создании функциональной схемы определяют:

- 1) целесообразный уровень автоматизации технологического процесса;
- 2) принципы организации контроля и управления технологическим процессом;
- 3) технологическое оборудование, управляемое автоматически, дистанционно или в обоих режимах по заданию оператора;
- 4) перечень и значения контролируемых и регулируемых параметров;
- 5) методы контроля, законы регулирования и управления;
- 6) объем автоматических защит и блокировок автономных схем управления технологическими агрегатами;
- 7) комплект технических средств автоматизации, вид энергии для передачи информации;
- 8) места размещения аппаратуры на технологическом оборудовании, на щитах и пультах управления.

На функциональной схеме изображаются системы автоматического контроля, регулирования, дистанционного управления, сигнализации, защиты и блокировок. Все элементы систем управления показываются в виде условных изображений и объединяются в единую систему линиями функциональной связи.

Элементы щита и пульта управления изображаются на функциональной схеме автоматизаций. Верхняя часть в функциональной схеме приводится схема процесса или объекта управления и условного обозначения датчиков прибора измерения предназначенных для измерения технологического параметра, т.е. первичные преобразователь.

Вторичные приборы контроля и управления, т.е. элементы щита и пульта управления изображается в нижней части схемы в виде прямоугольники произвольных размеров. Внутри контура прямоугольника располагается условные обозначения приборов, средств автоматизации аппараты управления и сигнализации.

Связь между первичным преобразователем и вторичными приборами показывается сплошной линией или обрыв линии с нумерацией.

Существует два способа выполнения функциональных схем автоматизации: развернутый и упрощенный.

При выполнении упрощенным способом на схемах показывают отборные устройства, первичные приборы, регулирующие устройства, исполнительные механизмы и одно условное изображение устройства контроля и управления независимо от того, сколько блоков и устройств в него входят. На этих схемах обычно не показывают щиты контроля, операторские пункты. Такие схемы создаются на начальных стадиях проектирования.

При выполнении ФСА развернутым способом условное обозначение приборов и СА показывается для каждого отдельно существующего функционального блока.

Щиты контроля и управления показывают в нижней части чертежа при помощи условных прямоугольников.

Преимуществом развернутого способа является большая наглядность и возможность легкой и быстрой ориентации в распределении аппаратуры по пунктам управления. Достоинством упрощенного способа является меньшая трудоемкость составления схем автоматизации и непосредственное ее совмещение со схемой технологического процесса.

На основании схемы автоматизации разрабатывается заказная спецификация на приборы и СА.

В системах автоматического контроля и управления различными технологическими процессами значительное место занимают электрические приборы, аппараты, устройства, которые служат для обеспечения управления, блокировки, сигнализации и защиты.

Для изображения взаимной электрической связи приборов и устройств служат электрическая схема. По своему назначению электрические схемы подразделяются на *принципиальные, полные и монтажные*.

Принципиальные схемы служат для того, чтобы наиболее просто и наглядно условно изобразить устройства, входящие в схему, показать взаимную электрическую связь между ее отдельными элементами с учетом последовательности работы, т.е. дать представление о принципе действия

Полные схемы. На основании принципиальных схем в некоторых случаях составляют полные электрические схемы, охватывающие весь комплекс агрегатов.

Условные обозначения

Функциональная схема автоматического контроля и управления содержит упрощенное изображения технологической схемы автоматизируемого процесса. Оборудование на схеме показывается в виде условных изображений. На функциональной схеме изображаются системы автоматического контроля, регулирования, дистанционного управления, сигнализации, защиты и блокировок. В схемах автоматизации технологических процессов используют обозначения измеряемых величин, функциональные признаки приборов, линии связи, а также способы построения условных графических обозначений приборов и средств автоматизации. Все местные измерительные и преобразовательные приборы, установленные на технологическом объекте, изображаются на функциональных схемах автоматизации (ФСА) в виде окружностей (см. рисунок 1, а, б).

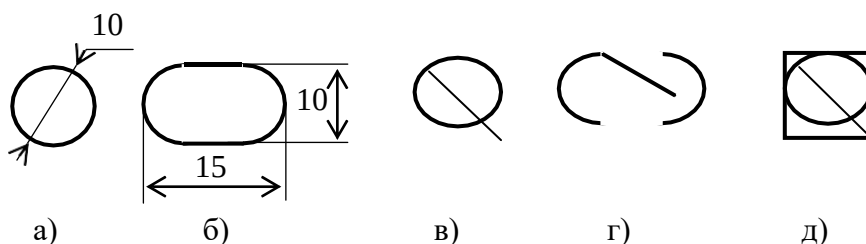


Рисунок 1

Если приборы размещаются на щитах и пультах в центральных или местных операторных помещениях, то внутри окружности проводится горизонтальная разделительная линия (см. рисунок 1, в, г). Если функция, которой соответствует окружность, реализована в системе распределенного управления (например, в компьютеризированной системе), то окружность вписывается в квадрат (см. рисунок 1, д).

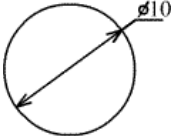
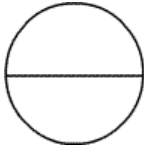
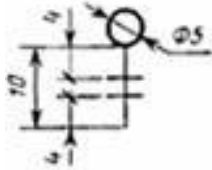
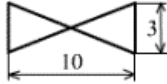
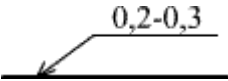
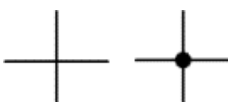
Внутри окружности вписываются:

- в верхнюю часть - функциональное обозначение (обозначения контролируемых, сигнализируемых или регулируемых параметров, обозначение функций и функциональных признаков приборов и устройств);
- в нижнюю - позиционные обозначения приборов и устройств.

Места расположения отборных устройств и точек измерения указываются с помощью тонких сплошных линий.

.

Таблица 1 Графические обозначение элементов автоматизации

	Наименование	Обозначение
1	Первичный измерительный преобразователь (датчик); прибор, устанавливаемый по месту;	
2	Прибор, устанавливаемый на щите, пульте	
3	Исполнительный механизм. Общее обозначение	
4	Регулирующий орган	
5	Общее обозначение линии связи	
6	Пересечение линий связи с соединением и без него.	

Буквенные обозначения средств автоматизации строятся на основе латинского алфавита и состоят из трех групп букв:

1 буква - Контролируемый, сигнализируемый или регулируемый параметр:

D - плотность,
E - любая электрическая величина,
F - расход,
G - положение, перемещение,
H - ручное воздействие,
K - временная программа,
L - уровень,
M - влажность,
P - давление,
Q - состав смеси, концентрация,
R - радиоактивность,
S - скорость (линейная или угловая),
T - температура,
U - разнородные величины,
V - вязкость,
W – масса.

2 буква (необязательная) - уточнение характера измеряемой величины:

D - разность, перепад,
F - соотношение,
J - автоматическое переключение,
Q - суммирование, интегрирование.

3 группа символов (несколько букв) - функции и функциональные признаки прибора:

I - показания,
R - регистрация,
C - регулирование,
S - переключение,
Y - преобразование сигналов, переключение,
A - сигнализация,
E - первичное преобразование параметра,
T - промежуточное преобразование параметра, передача сигналов на расстояние,
K - переключение управления с ручного на автоматическое и обратно, управление по программе, коррекция.

Дополнительные условные обозначения преобразователей сигналов и вычислительных устройств приведены в таблице 1.

Букву S не следует применять для обозначения функции регулирования (в том числе позиционного).

Буква E применяется для обозначения чувствительных элементов, т. е. устройств, выполняющих первичное преобразование, например, термометров термоэлектрических (термопар), термометров сопротивления, сужающих устройств расходомеров.

Буква T обозначает промежуточное преобразование — дистанционную передачу сигнала. Ее рекомендуется применять для обозначения приборов с дистанционной передачей показаний, например, бесшкальных манометров

(дифманометров), манометрических термометров с дистанционной передачей и других подобных приборов.

Буква К применяется для обозначения приборов, имеющих станцию управления, т. е. переключатель для выбора вида управления (автоматическое, ручное) и устройство для дистанционного управления.

Буква У рекомендуется для построения обозначений преобразователей сигналов и вычислительных устройств.

Порядок построения условных обозначений с применением дополнительных букв следующий: на первом месте ставится буква, обозначающая измеряемую величину; на втором—одна.

Буква U может быть использована для обозначения прибора, измеряющего несколько разнородных величин. Расшифровка этих величин приводится около прибора или на поле чертежа. Для конкретизации измеряемой величины около изображения прибора (справа от него) необходимо указывать наименование или символ измеряемой величины, например, «Напряжение», «Ток», рН, O₂ и т. д.

Для обозначения величин, не предусмотренных данным стандартом, могут быть использованы резервные буквы В, N, O; при этом многократно применяемые величины следует обозначать одной и той же резервной буквой. Резервные буквенные обозначения должны быть расшифрованы на схеме. Вводной и той же документации не допускается применение одной резервной буквы для обозначения разных величин.

Условные обозначения других приборов, используемых на схемах, показаны на рисунке 2.:

- исполнительный механизм (общее обозначение). Положение регулирующего органа при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала не регламентируется, – рисунок 2., а;
- исполнительный механизм, открывающий регулирующий орган при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала, – рисунок 2., б;
- исполнительный механизм, закрывающий регулирующий орган при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала, – рисунок 2., в;
- исполнительный механизм, оставляющий регулирующий орган в неизменном положении при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала, - рисунок 2., г;
- исполнительный механизм с дополнительным ручным приводом (обозначение может применяться в сочетании с любым из дополнительных знаков, характеризующих положение регулирующего органа при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала), – рисунок 2., д;
- автоматическая защита из системы противоаварийной защиты (ПАЗ, см. рисунок 2., е);
- технологическое отключение (включение) из системы управления (см. рисунок 2, ж);
- регулирующий орган (задвижка, клапан и т.д.), – рисунок 2., и;
- регулирующий клапан, открывающийся при прекращении подачи воздуха (нормально открытый), – рисунок 2., к;

- регулирующий клапан, закрывающийся при прекращении подачи воздуха (нормально закрытый), – рисунок 2., л;
- управляющий электропневматический клапан, – рисунок 2., м;
- отсекающий с приводом (запорный клапан), – рисунок 2., н;
- электрозадвижка, – рисунок 2., п;
- пневмоотсекатель, – рисунок 2., р;
- отборное устройство без постоянно подключенного прибора (служит для эпизодического подключения приборов во время наладки, снятия характеристик и т. п.), – рисунок 2., с.

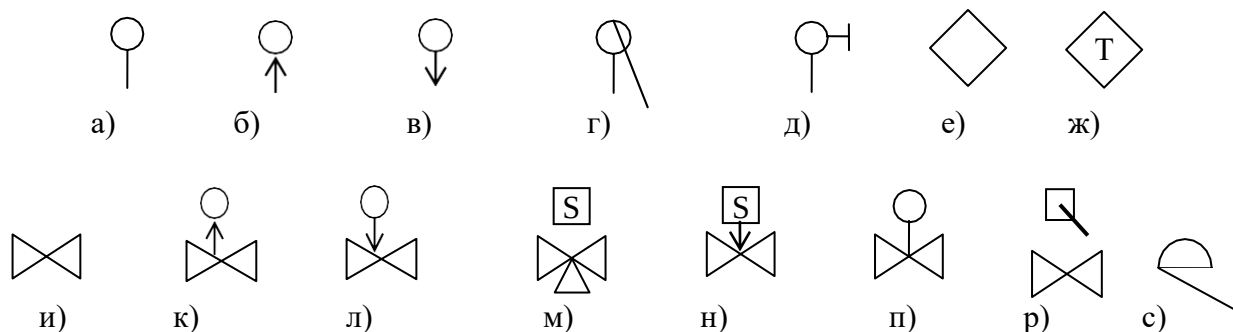


Рисунок 2.

2 Примеры построения условных обозначений приборов и средств автоматизации



Первичный измерительный преобразователь для измерения температуры, установленный по месту (например, термоэлектрический преобразователь (термопара), термопреобразователь сопротивления, термобаллон манометрического термометра, датчик пирометра и т.д.).



Прибор для измерения температуры показывающий (термометры

ртутный, манометрический и т.д.). Пример: термометр ...



Прибор для измерения температуры показывающий, установленный на щите (милливольтметр, логометр, потенциометр, мост автоматический и т.д.).



Прибор для измерения температуры бесшкальный с дистанционной передачей показаний, установленный по месту. Пример: Преобразователь термоЭДС в стандартный токовый сигнал 0...5 мА,.



Прибор для измерения температуры регистрирующий, установленный на щите (милливольтметр самопишущий, логометр, потенциометр и т.д.).



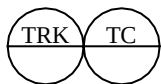
Прибор для измерения температуры с автоматическим обегаяющим устройством регистрирующий, установленный на щите (термометр манометрический, милливольтметр, потенциометр, мост и т.д.).



Прибор для измерения температуры регистрирующий, регулирующий, установленный на щите (термометр манометрический, милливольтметр, потенциометр и т.д.).



Регулятор температуры бесшкальный, установленный по месту (дилатометрический регулятор температуры и др.).



Комплект для измерения температуры регистрирующий, регулирующий, снабженный станцией управления, установленный на щите



Прибор для измерения температуры бесшкальный с контактным устройством, установленный по месту (реле температурное).



Байпасная панель дистанционного управления, установленная на щите.



Переключатель электрических цепей измерения (управления), переключатель для газовых (воздушных) линий, установленный на щите.



Прибор для измерения давления (разряжения), показывающий, установленный по месту (любой показывающий манометр, дифманометр, напоромер и т.д)



Прибор для измерения перепада давления показывающий, установленный по месту (дифманометр показывающий).



Прибор для измерения давления (разряжения) бесшкальный с дистанционной передачей показаний, установленный по месту (дифманометр бесшкальный с пневмо- или электропередачей).



Прибор для измерения давления (разряжения) регистрирующий, установленный на щите (самопишущий манометр или любой

другой вторичный прибор для регистрации давления).



Прибор для измерения давления с контактным устройством, установленный по месту (реле давления).



Прибор для измерения давления (разряжения) показывающий с контактным устройством, установленный по месту (электроконтактный манометр и т.д.).



Регулятор давления прямого действия «до себя».



Первичный измерительный преобразователь для измерения расхода, установленный по месту (диафрагма, сопло Вентури датчик индукционного расходомера и т.д.).



Прибор для измерения расхода бесшкальный с дистанционной передачей показаний, установленный по месту (бесшкальный дифманометр, ротаметр с пневмо- или электропередачей).



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



Прибор для измерения расхода показывающий, установленный по месту (дифманометр или ротаметр показывающий и т.д.).



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



Прибор для измерения расхода показывающий интегрирующий, установленный на щите (показывающий дифманометр с интегратором).



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



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



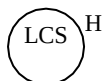
Прибор для измерения уровня показывающий, установленный по месту.



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



Прибор для измерения уровня с контактным устройством бесшкальный с дистанционной передачей показаний, установленный по месту (уровнемер бесшкальный с пневмо- или электропередачей).



Прибор для измерения уровня бесшкальный регулирующий с контактным устройством, установленный по месту (электрический регулятор-сигнализатор уровня с блокировкой по верхнему уровню).



Прибор для измерения уровня показывающий с контактным устройством, установленный на щите (вторичный показывающий прибор с сигнализацией верхнего и нижнего уровня).



Прибор для измерения плотности раствора бесшкальный с дистанционной передачей показаний, установленный по месту



Прибор для измерения размеров показывающий, установленный по месту (толщиномер).



Прибор для измерения любой электрической величины показывающий, установленный по месту.



Вольтметр.



Амперметр.



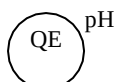
Ваттметр



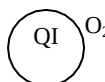
Прибор для управления процессом по временной программе, установленный на щите (командный пневматический прибор, многоцепное реле времени и т.д.).



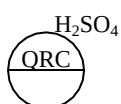
Прибор для измерения влажности регистрирующий, установленный на щите (вторичный прибор влагомера и т.д.).



Первичный преобразователь для измерения качества продукта, установленный по месту (датчик рН-метра и т.д.).



Прибор для измерения качества продукта показывающий, установленный по месту (газоанализатор на кислород и т.д.).



Прибор для измерения качества продукта регистрирующий, установленный на щите (вторичный

самопишущий прибор регулятора концентрации серной кислоты в растворе и т.д.).



Прибор для измерения радиоактивности показывающий с контактным устройством, установленный по месту (прибор для показаний и сигнализации предельно допустимых значений α и β -излучений).



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

$U=f(F,P,T)$



Прибор для измерения нескольких разнородных величин регистрирующий, установленный по месту (самопишущий дифманометр-расходомер с дополнительной записью давления и температуры).



Прибор для измерения вязкости раствора показывающий, установленный по месту (вискозиметр показывающий).



Прибор для измерения массы продукта показывающий с контактным устройством, установленный по месту (устройство электронно-тензометрическое сигнализирующее и т.д.).



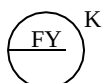
Прибор для контроля погасания факела печи беспикальный с контактным устройством, установленный на щите (вторичный прибор запально-защитного устройства; применение резервной буквы В должно быть оговорено на поле схемы).



Преобразователь сигнала, установленный на щите (входной и выходной сигналы – электрические; нормирующий преобразователь и т.д.).



Преобразователь сигнала, установленный по месту (входной сигнал пневматический, выходной – электрический; электропневмопреобразователь ЭПП-63 и т.д.).



Устройство, выполняющее функцию умножения на постоянный коэффициент К.



Пусковая аппаратура для управления электродвигателем (магнитный пускатель, контактор и т.д.; применение резервной буквы N должно быть оговорено на поле схемы).



Аппаратура, предназначенная для ручного дистанционного управления, установленная на щите (кнопка, ключ управления, датчик и т.д.).



Аппаратура для ручного дистанционного управления, снабженная устройством для сигнализации, установленная на щите (кнопка с лампочкой и т.д.).



Ключ управления, предназначенный для выбора управления, установленный на щите.

Таблица 2.3 - Форма спецификации к ФСА

Поз.	Параметры среды, измеряемые параметры	Наименование и техническая характеристика	Марка	К-во	Примечание
100-1 101-1 103-2	Измерение уровня в ёмкости Е-2	2-х проводный ультразвуковой преобразователь для измерения уровня и объема жидкостей в танках для хранения и простых рабочих резервуарах. Диапазон измерения версия 6 м 0,25 до 6 м. Температурная компенсация встроена.	SITRANS Probe LU	3	По месту

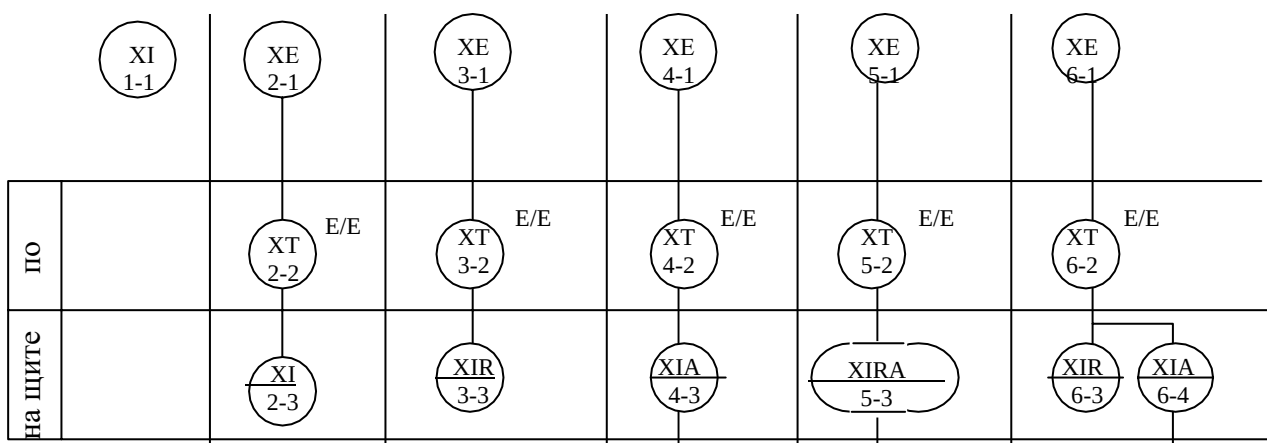
Примечание - Приборы в спецификации могут быть сгруппированы по позициям на схеме или по маркам.

3 Основные принципы построения функциональных схем автоматизации

ФСА представляют собой технологическую схему с нанесенными на нее обозначениями контрольно-измерительных приборов. Технологическое оборудование чертится обычными линиями, контрольно-измерительное – тонкими.

При этом первичные преобразователи (датчики) ХЕ (для упрощения буквой Х обозначен произвольный технологический параметр; вместо него может быть любое обозначение из принятых: температура Т, расход F и т.д.), показывающие приборы, установленные по месту ХІ (ТІ, LІ, FQІ, PІ и т.д.) и исполнительные устройства (клапаны, задвижки и др.) показываются непосредственно на схеме. Прочие приборы сносятся в таблицу, которая расположена ниже схемы и имеет как минимум две строки, обозначенных «По месту» и «На щите».

Существует несколько наиболее распространенных вариантов ФСА.



а) б) в) г) д) е)

Рисунок 3

Вариант 1. Измерение и индикация технологического параметра по месту (XI). Обычно эта функция возлагается на один прибор, в конструкцию которого входят датчик, преобразователь и шкала (индикатор). Прибор отображает значение измеренного параметра непосредственно в месте измерения и часто не имеет возможности вывода сигнала на щит. К таким приборам относятся градусники, стеклянные уровнемеры, расходомеры-счетчики и т.д. Прибор обозначается одной окружностью (см. рисунок 3, а).

Вариант 2. Измерение с индикацией на щите оператора (XI, рисунок 3,б). Поскольку щит оператора, как правило, располагается на расстоянии от нескольких метров до нескольких десятков километров от места измерения технологического параметра, а сам технологический параметр не представляется возможным вывести на щит (например, температуру невозможно передавать на расстояние), то используется система из трех приборов: первичного преобразователя (датчика XE), вторичного преобразователя (XT) и индикатора (XI). Цепочка передачи сигнала: $XE \rightarrow [XT] \rightarrow XI$ (квадратные скобки показывают, что вторичный преобразователь может отсутствовать).

Датчик измеряет технологический параметр, преобразует его в какой-либо сигнал, удобный для дальнейшей передачи (напряжение, ток, давление и т.д.) и передает его вторичному преобразователю. Вторичный преобразователь усиливает этот сигнал, преобразует его в один из унифицированных сигналов и передает далее. Вторичный преобразователь может отсутствовать, если, например, с выхода датчика уже поступает унифицированный сигнал. Показывающий прибор (XI) на щите у оператора, получив сигнал, отображает его на шкале (индикаторе). Если унифицированный сигнал токовый, то показывающий прибор – амперметр, если напряжение – вольтметр или потенциометр, если пневматический – манометр.

Вариант 3. Измерение с индикацией и регистрацией (XIR или XR, рисунок 3, в). Принцип действия схемы аналогичен предыдущему варианту, но вместо показывающего прибора на щите устанавливается регистрирующий. Как правило, регистрирующие приборы одновременно показывают на шкале или индикаторе текущий регистрируемый параметр, т.е. выполняют одновременно функцию индикации. Цепочка передачи сигнала:

$$XE \rightarrow [XT] \rightarrow XIR.$$

Вариант 4. Сигнализация технологического параметра (XIA, рисунок 3,г). Существуют показывающие приборы, которые позволяют сигнализировать звуковым или световым сигналом факт выхода контролируемого параметра за допустимые пределы. Схема в этом случае будет аналогична варианту 2, но с выводом сигнала на лампочку или звуковой сигнал. Цепочка передачи сигнала:

$$XE \rightarrow [XT] \rightarrow XIA \rightarrow \text{лампочка}.$$

Вариант 5. Измерение с индикацией, регистрацией и сигнализацией на щите (XIRA, рисунки 3,д и 3,е). Для реализации перечисленных функций либо на щит

устанавливается прибор, одновременно выполняющий их, либо используется комбинация схем из вариантов 3 и 4. В первом случае цепочка передачи воздействий:

$$XE \rightarrow [XT] \rightarrow XIRA \rightarrow \text{лампочка.}$$

Во втором производится ветвление сигнала с первичного или вторичного преобразователя на два прибора: на регистратор (XIR) и на прибор с сигнализацией (XIA):

$$XE \rightarrow [XT] \rightarrow \begin{matrix} XIR \\ \rightarrow XIA \end{matrix} \rightarrow \text{лампочка.}$$

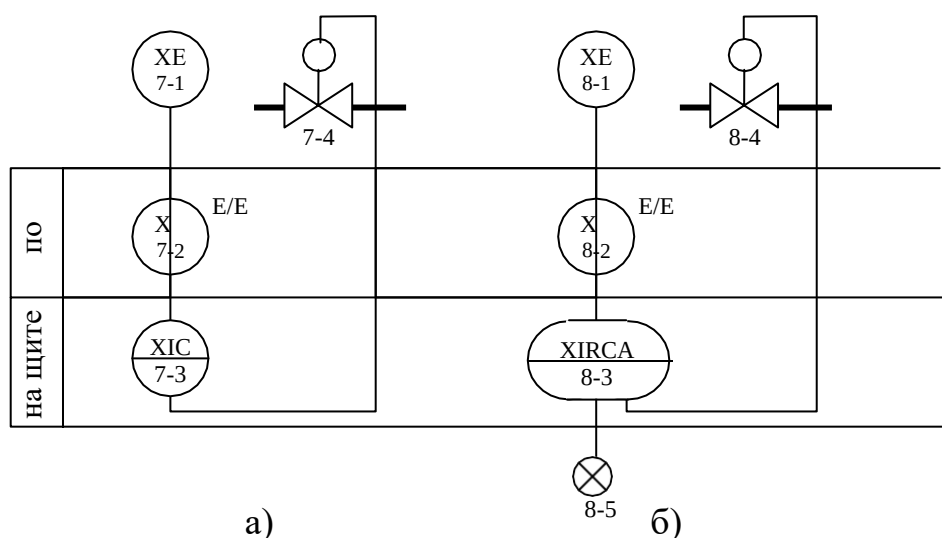


Рисунок 4

Вариант 6. Регулирование (XIC, рисунок 4,а). Регулирование подразумевает наличие регулятора и управляющего воздействия на объект. На предприятиях нефтеперерабатывающей, газовой и химической промышленности для реализации управляющих воздействий на объект управления в основном используются задвижки, клапаны и другие устройства дроссельного типа. Принципы построения современных систем управления требуют при регулировании отображения регулируемого параметра для контроля за процессом регулирования, поэтому дополнительно реализуется функция индикации:

$$XE \rightarrow [XT] \rightarrow XIC \rightarrow \text{задвижка.}$$

Вариант 7. Регулирование, регистрация, индикация и сигнализация технологического параметра (XIRCA, рисунок 4,б). Функции также реализуются с помощью единого устройства, которое позволяет это сделать (например, с помощью пишущего потенциометра КСП-4 со встроенными блоками регулирования и сигнализации), либо с помощью нескольких устройств, установленных на щите и

реализующих каждое свою функцию. Ветвление сигнала также идет после первичного или вторичного преобразователя.

Далее несколько схем рассматривается более подробно.

4 Примеры схем контроля температуры

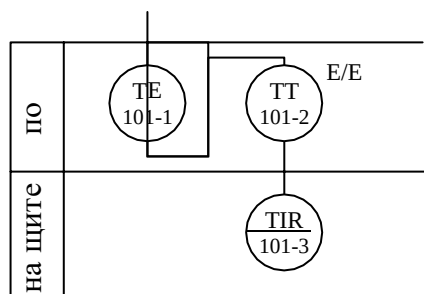


Рисунок 5

1 Индикация и регистрация температуры (ТИР, рисунок 5)

101-1 Термоэлектрический термометр тип ТХА, гр.

ХА, пределы измерения от -50°C до 900°C , материал корпуса Ст0Х20Н14С2, марка ТХА-0515

101-2 Преобразователь термоЭДС в стандартный токовый сигнал $0...5\text{ мА}$, гр. ХА, марка Ш-72

101-3 Миллиамперметр показывающий регистрирующий на 2 параметра, марка А-542

Примечание - Другие виды амперметров А-502, А-503 – показывающие, А-542, А-543 – регистрирующие (последняя цифра – число параметров); А-100 – показывающий на 1 параметр.

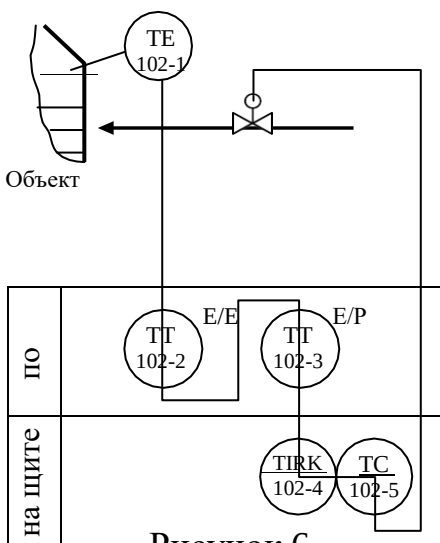


Рисунок 6

2 Индикация, регистрация и регулирование температуры с помощью пневматического регулятора (ТИРС, пневматика, рисунок 6)

102-1 то же, что 101-1

102-2 то же, что 101-2

102-3 электропневмопреобразователь, входной сигнал $0...5\text{ мА}$, выходной – стандартный пневматический $0,02...0,1\text{ МПа}$, марка ЭПП-63 (или ЭПП-180)

102-4 пневматический вторичный прибор на 3 параметра со станцией управления, марка ПВ 10.1Э (с электроприводом диаграммной ленты)

102-5 Пневматический ПИ-регулятор

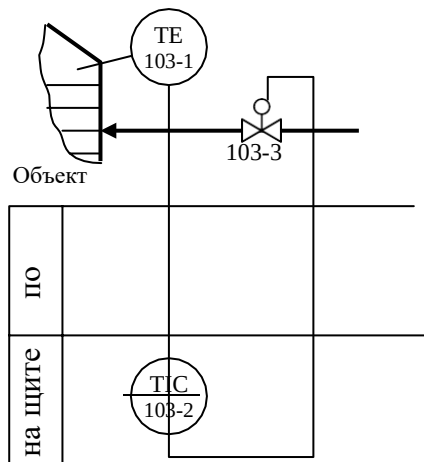


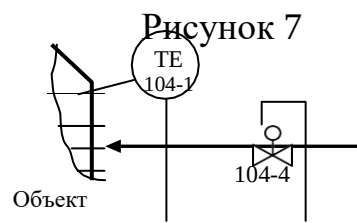
Рисунок 7

3 Индикация и регулирование температуры с помощью микропроцессорного регулятора (ТИС, электрическая ветвь, рисунок 7)

103-1 то же, что 101-1

103-2 Трехканальный микропроцессорный регулятор типа «Протерм-100»

103-3 Регулирующий клапан для неагрессивных сред, корпус из чугуна, предельная температура $T = 300^{\circ}\text{C}$, давление $P_y = 1,6\text{ МПа}$, условный диаметр $D_y = 100\text{ мм}$, тип 25нч32нж.



4 Индикация, регистрация, сигнализация и регулирование температуры с помощью

потенциометра (моста) (TIRC, электрическая ветвь, рисунок 8)

104-1 то же, что 101-1

104-2 Автоматический электронный потенциометр на 1 точку со встроенными устройствами регулирования и сигнализации, тип КСП-4 (или автоматический электронный мост типа КСМ-4 и т.д.)

104-3 Лампа сигнальная Л-1

104-4 то же, что 103-3

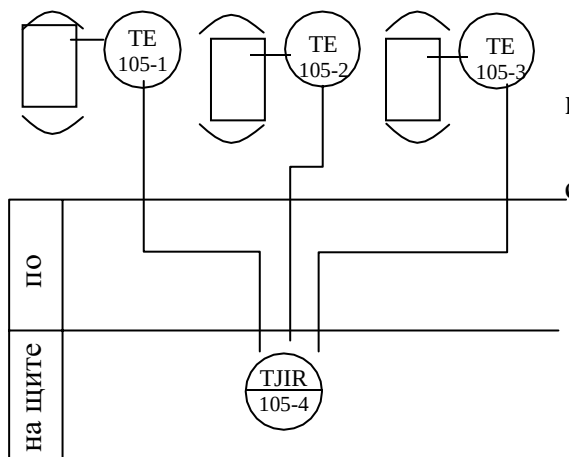


Рисунок 9

5 Измерение температуры многоточечным прибором (TJIR, рисунок 9)

105-1 – 105-3 Термопреобразователи сопротивления (ТСП-6097),

105-4 - электронный мост (КСП-4)

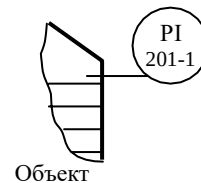


Рисунок 2.10

5 Примеры схем контроля давления

1 Индикация давления (PI)

210-1 Манометр пружинный ОБМ1-160

2 Сигнализация давления (РА, рисунок 11)

202-1 Пневматический первичный преобразователь давления, предел измерения 0... 1,6 МПа, выходной сигнал 0,02...0,1 МПа, марка МС-П-2 (манометр сильфонный с пневмовыходом)

202-2 Электроконтактный манометр с сигнальной лампой ЭКМ-1

202-3 то же, что 104-3.

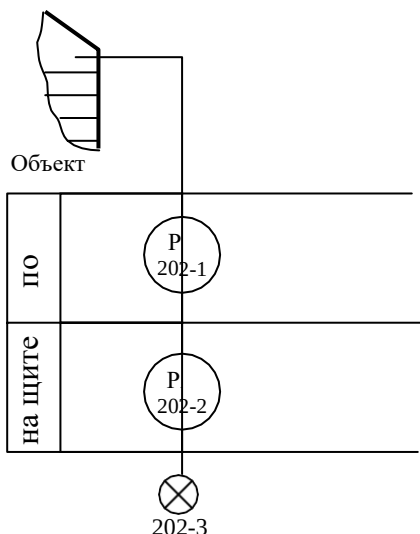
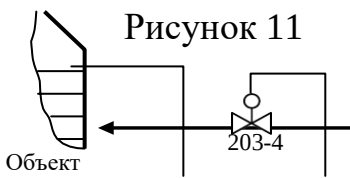


Рисунок 11



203-1
203-2
203-3

3 Индикация, регистрация и регулирование давления (PIRC, пневматика, рисунок 12)

то же, что 202-1
то же, что 102-4
то же, что 102-5
203-4 то же, что 103-3

4 Индикация и регистрация давления (PIR, электрическая ветвь, рисунок 13)

204-1 Первичный преобразователь давления со стандартным токовым выходом 0...5 мА, марка МС-Э (или Сапфир-22ДИ и т.д.)
204-2 то же, что 101-3

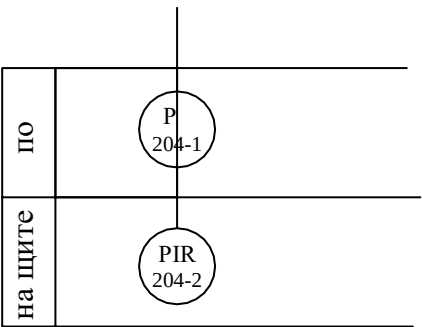


Рисунок 2.13

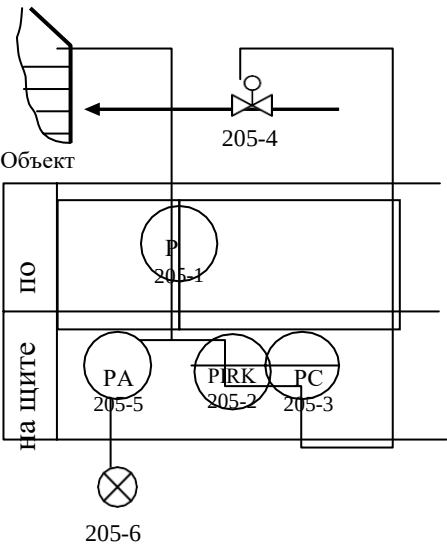


Рисунок 14

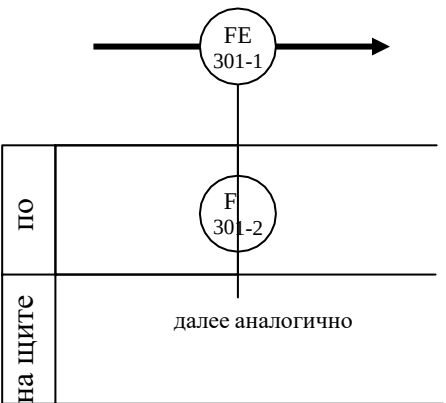
5 Индикация, регистрация, регулирование и сигнализация давления (PIRCA, пневматика, рисунок 14)

205-1 то же, что 202-1; 205-2 то же, что 102-4;
205-3 то же, что 102-5; 205-4 то же, что 103-3;
205-5 то же, что 202-2; 205-6 то же, что 202-3.

6 Схемы контроля расхода

Схемы контроля уровня аналогичны схемам контроля давления, поскольку его значение при измерении либо преобразуется в давление (см. рисунок 15,а), либо датчики уровня, как и датчики давления, имеют на выходе стандартный пневматический или электрический сигнал (см. рисунок 15,б).

Для измерения расхода жидкости первичные преобразователи устанавливаются в сечении трубопровода, поэтому на схеме их обозначения также, как правило, изображаются встроенным в трубопровод.



а)

При использовании сужающих устройств, например, диафрагм, перепад давлений на них замеряется дифманометрами, поэтому схемы автоматизации аналогичны схемам контроля давления. Прочие расходомеры, как правило, уже имеют на выходе стандартный сигнал.

Примеры схем:

301-1 Диафрагма марки ДК6-50-II-а/г-2 (диафрагма камерная, давление $P_y = 6$ атм, диаметр $D_y = 50$ мм)

301-2 Дифманометр с пневмовыходом 0,02...0,1 МПа, марка ДС-П1 (для пневматики) или «Сапфир-22ДД» (для электрической схемы)

302-1 Ротаметр РД-П (с пневмовыходом) или РД-Э (с электрическим выходом)

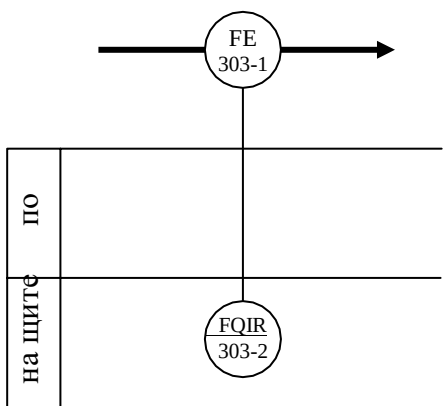


Рисунок 16

1 Индикация и регистрация расхода (FQIR, рисунок 16)

303-1 то же, что 301-1

303-2 Вторичный прибор — дифманометр ДСС-712Н.

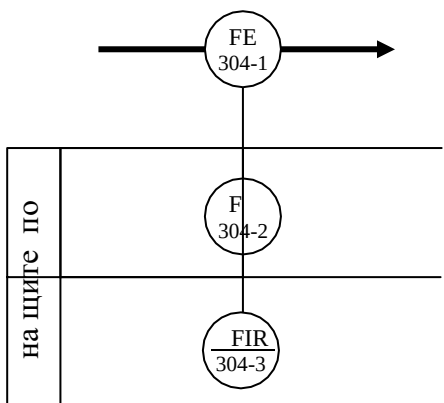


Рисунок 17

2 Индикация и регистрация расхода (FIR, электрическая ветвь, рисунок 17)

304-1 то же, что 301-1

304-2 Дифманометр с эл. выходом 0 – 5 мА «Сапфир-22ДД»

304-3 то же, что 101-3

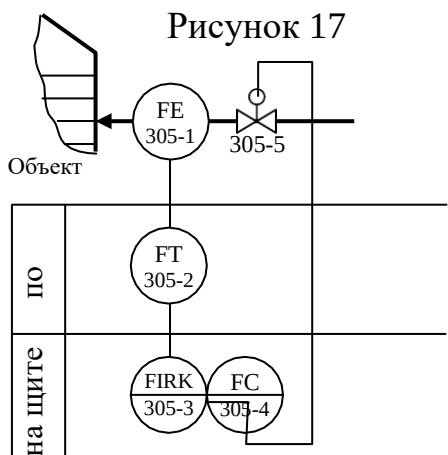


Рисунок 17

3 Индикация, регистрация и регулирование расхода (FIRC, пневматика, рисунок 18)

305-1 то же, что 301-1

305-2 Дифманометр с пневмовыходом 0,02...0,1 МПа, марка ДС-П1

305-3 то же, что 102-4

305-4 то же, что 102-5

305-5 то же, что 103-3

4 Каскадно-связанное (многоконтурное) регулирование расхода с коррекцией по уровню (FIRC, LIRC, пневматика, рисунок 19)

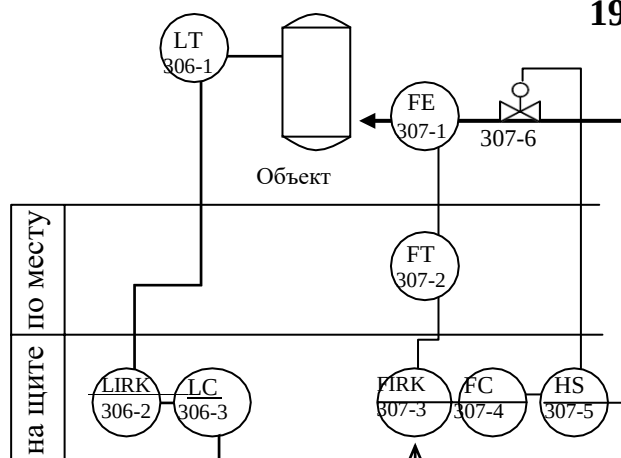


Рисунок 19

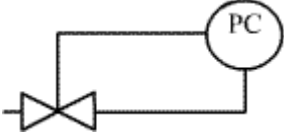
- 306-1 Преобразователь уровня 13УБ08
- 306-2 Вторичный прибор со станцией управления ПВ 10.1Э
- 306-3 Регулятор пневматический ПР 3.31
- 307-1 Диафрагма камерная ДК 6-50
- 307-2 Преобразователь расхода 13ДДП
- 307-3 Вторичный прибор со станцией управления ПВ 10.1Э
- 307-4 Регулятор пневматический ПР 3.31
- 307-5 Переключатель
- 307-6 То же, что 103-3

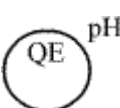
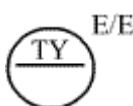
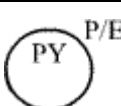
Примечание - Переключатель обеспечивает переход на одноконтурное регулирование уровня. Для получения схемы регулирования расхода без коррекции по уровню, а также для ручного регулирования используется станция управления в приборе 307-3 (переключатель находится в положении многоконтурного регулирования).

Таблица 2.3 - Форма спецификации к ФСА

Поз.	Параметры среды, измеряемые параметры	Наименование и техническая характеристика	Марка	К-во	Примечание
100-1 101-1 103-2	Давление в аппарате, $P_{\max} = 0,5 \text{ МПа}$	Манометр сильфонный с пневмовыходом, вых. сигнал 0,02...0,1 МПа, пределы измерений 0...1,6 МПа	МС-П2	3	По месту

Примеры условных обозначений приборов и средств автоматизации

Наименование и функции	Обозначение
Первичный измерительный преобразователь для измерения температуры, установленной по месту. Например: термопара, термометр сопротивления.	
Прибор для измерения температуры показывающий, установленной по месту. Например: термометр ртутный, термометр манометрический.	
Прибор для измерения температуры показывающей, установленный на щите. Например: милливольтметр, потенциометр.	
Прибор для измерения температуры с автоматическим обеганием устройством, регистрирующий установленный на щите. Например: многоточечный самопишущий потенциометр, мост автоматический.	
Прибор для измерения температуры регистрирующий, регулирующий, установленный на щите. Например самопишущий регулятор температуры.	
Регулятор температуры безшкальный, установленный по месту. Например: dilatометрический регулятор температуры.	
Комплект для измерения температуры регистрирующий, регулирующий, снабженный станцией управления, установленный на щите.	
Регулятор давления, работающий без использования построенного источника энергии (прямого действия).	
Прибор для измерения давления (разряжения) показывающий, установленный по месту – показывающий манометр, тягомер, напоромер и т.п.	
Прибор для измерения давления (разряжения) регистрирующий, установленный на щите – самопишущий манометр или другой вторичный прибор регистрации давления	
Прибор для измерения любой электрической величины показывающий, установленный по месту.	
Прибор для измерения уровня бесшкальный, с дистанционной передачей показаний, установленный по месту.	
Прибор для измерения плотности раствора бесшкальный, с дистанционный передачей показаний, установленный по месту.	

Прибор для измерения влажности регистрирующий (вторичный), установленный на щите.	
Прибор для измерения скорости вращения привода регистрирующий, установленный по месту. Например: тахогенератор	
Прибор для измерения вязкости раствора показывающий, установленный на щите.	
Пусковая аппаратура для управления электродвигателем.	
Аппаратура ручного дистанционного управления, снабженная устройством сигнализации, установленная на щите.	
Первичный измерительный преобразователь для измерения качества продукта, установленный по месту. Например: датчик рН-метра.	
Прибор для измерения радиоактивности, показывающий, контактным устройством, установленный по месту. Например: прибор для показания и сигнализации предельно-допустимых концентраций α и β –лучей.	
Прибор для измерения вязкости раствора, показывающий, установленный по месту. Например: вискозиметр показывающий.	
Преобразователь сигнала, установленный на щите. Входной сигнал электрический, выходной – тоже электрический. Например: преобразования т.э.д.с. термопары в сигнал постоянного тока.	
Преобразователь сигнала, установленный по месту. Входной сигнал – пневматический, выходной – электрический.	
Первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения расхода, установленный по месту. Например: сопло, диафрагма, индукционный датчик расхода и т.п.	
Вычислительное устройство, выполняющее функцию умножения. Например: множитель на постоянный коэффициент К.	

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания для лабораторных работ по дисциплине

**СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ
ПРОЦЕССАМИ**

Направление подготовки	18.03.01 Химическая технология
Направленность (профиль)	Основной органический и нефтехимический синтез
Форма обучения	Очная
Год начала обучения	2026
Реализуется	7 семестре

Ставрополь, 2026

Содержание

СОДЕРЖАНИЕ	5
ВВЕДЕНИЕ.....	6
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1 Испытания стандартных блоков пультов управления и датчиков технологических параметров	7
1.3. ИСПЫТАНИЕ ДАТЧИКОВ ТЕМПЕРАТУРЫ И БЛОКА ИЗМЕРЕНИЯ-РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ.....	7
1.3.1. БЛОК ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЯ	7
1.3.2. ИСПЫТАНИЕ ДАТЧИКОВ ТЕМПЕРАТУРЫ	7
.....	7
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2 Исследование устойчивости и качества линейной системы автоматического управления.....	14
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3 Экспериментальное определение параметров динамических характеристик линейных звеньев систем автоматического управления.....	24
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4 Программируемый контроллер	7
4.1. УПРАВЛЕНИЕ ПРОГРАММИРУЕМОМ КОНТРОЛЛЕРОМ	7
4.1.1. ИСХОДНОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОГРАММИРУЕМОГО КОНТРОЛЛЕРА	7
4.1.2. РАБОТА С МЕНЮ ПРОГРАММИРУЕМОГО КОНТРОЛЛЕРА	7
4.1.3. ПЕРЕХОД К «ГЛАВНОМУ МЕНЮ» ПРОГРАММИРУЕМОГО КОНТРОЛЛЕРА	7
4.1.4. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ НАСТРОЙКИ ПРОГРАММИРУЕМОГО КОНТРОЛЛЕРА	8
4.1.5. ЗАГРУЗКА КОММУТАЦИОННОЙ ПРОГРАММЫ	8
4.1.6. ЗАПУСК И ОТЛАДКА КОММУТАЦИОННОЙ ПРОГРАММЫ.....	9
4.2. ПРОГРАММИРОВАНИЕ КОНТРОЛЛЕРА С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРА	10
4.2.1. ПОДГОТОВКА КОМПЬЮТЕРА К РАБОТЕ С ПРОГРАММИРУЕМОМ КОНТРОЛЛЕРОМ	10
4.2.2. УСТАНОВКА «LOGO!SOFTCOMFORT».....	10
4.2.3. ВВОД КОММУТАЦИОННОЙ ПРОГРАММЫ В ВИДЕ ДИАГРАММЫ (СХЕМЫ) ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ БЛОКОВ (FBD).....	36
4.2.4. ТЕСТИРОВАНИЕ КОММУТАЦИОННОЙ ПРОГРАММЫ	39
4.2.5. ЗАГРУЗКА И СЧИТЫВАНИЕ ПРОГРАММЫ ИЗ КОНТРОЛЛЕРА.....	40
4.2.6. УПРАВЛЕНИЕ КОММУТАЦИОННОЙ ПРОГРАММОЙ	41
4.2.7. ОТЛАДКА ИСПОЛНЯЕМОЙ В КОНТРОЛЛЕРЕ КОММУТАЦИОННОЙ ПРОГРАММЫ.....	41
4.3. ТЕСТИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ	19
4.4. ТЕСТИРОВАНИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ ЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ.....	472
4.5. ТЕСТИРОВАНИЕ ЛОГИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОМ.....	505
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5 АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПРОГРАММИРУЕМОГО КОНТРОЛЛЕРА	53
5.1. АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СВЕТОФОРОМ	5328
5.2. АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВНУТРЕННИМ ОСВЕЩЕНИЕМ	5732
5.3. АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ НАРУЖНЫМ ОСВЕЩЕНИЕМ	35

5.4. АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ	39
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6. АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ПОМЕЩЕНИИ.....	43
6.1. АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ИМПУЛЬСНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ПОМЕЩЕНИИ.....	43
6.2. АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА НЕПРЕРЫВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ПОМЕЩЕНИИ С ПОМОЩЬЮ ПИ-РЕГУЛЯТОРА.....	47

Введение

Методические указания к выполнению лабораторных работ составлены в соответствии с требованиями программы дисциплины «Системы управления химико-технологическими процессами» для студентов направления – 18.03.01 Химическая технология.

Методические указания включают в себя методику и порядок выполнения лабораторных работ, с использованием комплекта типового лабораторного оборудования «Средства автоматизации и управления». Цель экспериментов – изучение характеристик, приобретение навыков работы и программирования основных элементов промышленных систем управления: контролеров, стандартных блоков пультов управления, датчиков технологических параметров, указания по технике безопасности и перечень вопросов для защиты работы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1 (4 часа)

Испытания стандартных блоков пультов управления и датчиков технологических параметров

1.3 Испытание датчиков температуры и блока измерения-регулирования температуры

- Цель работы
- Лабораторная установка и схема электрическая соединений
- Перечень аппаратуры
- Указания по проведению эксперимента

Цель работы

Приобретение навыков программирования измерителя-регулятора температуры ТР441, установленного в блоке электронагревателя 394.2.

Определение статических характеристик датчиков температуры:

- термопреобразователя сопротивления ТС125-50М.В2.60;
- термоэлектрического преобразователя ТПК225-010.80;
- датчика температуры LM60;
- полупроводникового терморезистора КТ110.

В работе испытывается электронагреватель 394.2 (или 394.1) с блоком измерителя-регулятора температуры ТР441 (ТР530). Характеристики и порядок программирования ТР441 кратко описаны ниже в разделе 1.3.1. и подробно в литературе: «Измерители-регуляторы температуры ТР440 и ТР441. Руководство по эксплуатации». (Файл TR440_TR441_doc_020607.pdf записан на компакт-диске с документацией).

Во второй части работы (раздел 1.3.2) испытываются аналоговые датчики температуры:

1. Термопреобразователь сопротивления медный типа ТС125-50М.В2.60.
2. Термоэлектрический преобразователь ТПК225-010.80.
3. Микросхема датчика температуры с выходом по напряжению LM60 (описание в файле LM60.pdf).
4. Полупроводниковый резистор с положительным температурным коэффициентом КТ110 (описание в файле 1-kt.pdf).

1.3.1. Блок электронагревателя

Блок электронагревателя (рис. 1.3.1) используется для тестирования датчиков температуры. Блок позволяет задать и автоматически поддерживать температуру нагревателя. В блоке установлен маломощный источник +5 В для питания микросхемы датчика температуры и иных устройств.

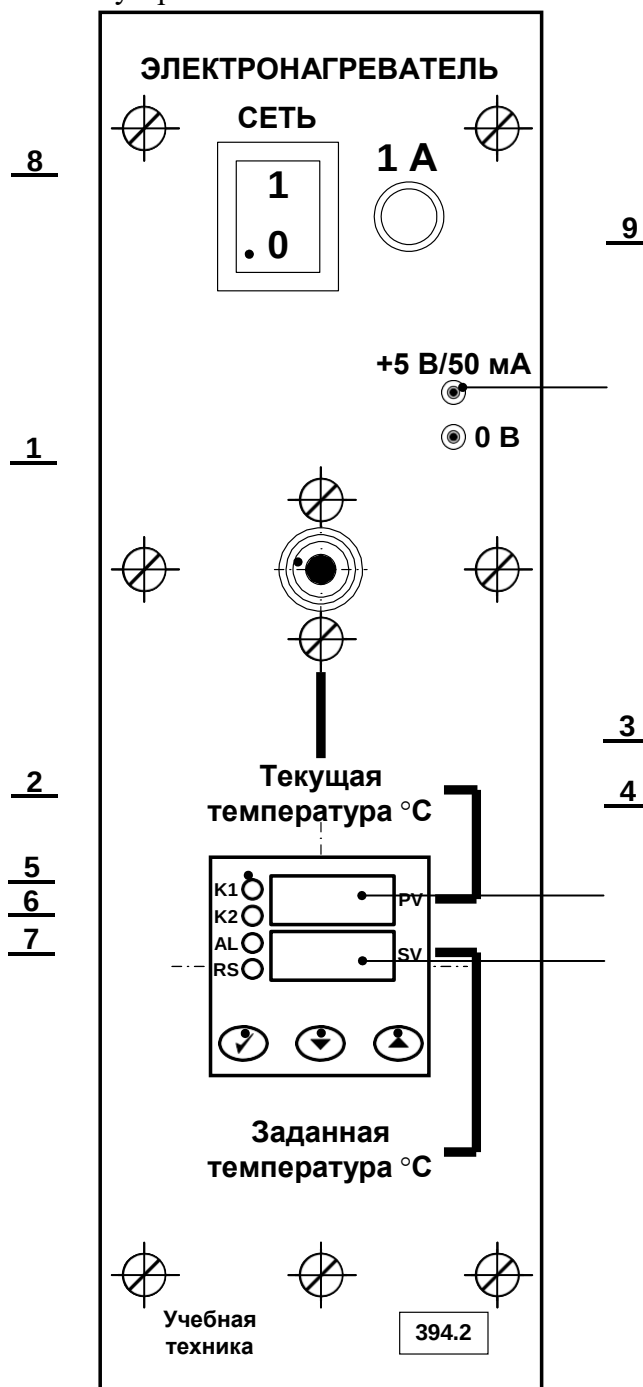


Рис. 1.3.1. Лицевая панель блока электронагревателя (394.2).

1 – отверстие нагревателя;

2 – измеритель-регулятор температуры;

3 – индикатор текущего значения температуры нагревателя (PV); 4

– индикатор заданного значения температуры нагревателя (SV);

5,6,7 – кнопки управления регулятором температуры;

8 – выключатель питания;

9 – гнезда источника питания +5 В.

Слева от индикаторов 3 и 4 (рис. 1.3.1) на лицевой панели регулятора температуры установлены 4 светодиода

K1 – включен при нагреве;

K2 – не используется;

AL – индикатор превышения предельных значений (не используется);

RS – индикатор режима автоматического регулирования. Должен быть включен для нормальной работы блока в режиме автоматического регулирования. При выключении автоматического регулирования (см. ниже) прибор работает только как индикатор температуры нагревателя.

Задание температуры электронагревателя.

1. Нажать одну из кнопок управления 5 или 6 регулятора температуры 2 (рис. 1.3.1).

Начинает мигать индикатор заданного значения температуры нагревателя (SV, зеленый индикатор 4, рис. 1.3.1).

2. Для изменения заданного значения температуры повторно нажать кнопки 5 (уменьшение) или 6 (увеличение температуры). Удержание кнопки в течении некоторого времени включает режим автоматического ускоренного изменения значения. В процессе установки индикатор продолжает мигать.

3. После установки требуемого значения температуры необходимо однократно нажать кнопку 7 (рис. 1.3.1). Мигание индикатора 4 (рис. 1.3.1) прекращается. Температура задана.

При выполнении экспериментов рекомендуется начинать с низких значений температуры (на 5...10° выше комнатной) и постепенно повышать её величину до 100° С, т. к. остывание электронагревателя происходит гораздо медленнее его нагрева.

Включение (отключение) режима автоматического регулирования.

При включении питания электронагревателя режим автоматического регулирования выключен. При выполнении экспериментов целесообразно задать начальное значение температуры и, после этого, включить режим автоматического регулирования.

Переключение в режим автоматического регулирования:

1. Однократно нажать кнопку 7 (рис. 1.3.1) регулятора температуры. На индикаторе 3 (красный, PV) отобразиться надпись «r-S». На индикаторе 4 (зеленый, SV) текущее состояние регулятора «StoP» (СТОП) или «rUn» (РАБОТА).

2. Для изменения состояния регулятора нажать любую из кнопок 5 или 6 – индикатор 4 начнет мигать. Повторное нажатие кнопки 5 или 6 переключит режим («StoP»↔«rUn»).

3. Нажатие кнопки 7 фиксирует выбранное значение (индикатор 4 не мигает). Повторное нажатие кнопки 7 возвращает регулятор температуры в исходное состояние – на индикаторе отображаются текущее и заданное значения температуры. Светодиод RS сигнализирует о состоянии регулятора: включен – режим «rUn» (РАБОТА), выключен – «StoP» (СТОП).

Подробно режимы работы измерителя-регулятора температуры TR441 и порядок его программирования описаны в литературе: «Измерители-регуляторы температуры TR440 и TR441. Руководство по эксплуатации» ТАЛС.405111.040 РЭ. (Файл TR440_TR441_doc_020607.pdf записан на компакт-диске с документацией). **При выполнении экспериментов любые изменения параметров регулятора температуры, кроме указанных в руководстве, не допускаются.**

3.3.1. Испытание датчиков температуры

Лабораторная установка и электрическая схема соединений

При выполнении работы используется электронагреватель А12 (394.2) рис 1.3.1. В блок встроен нагреватель с измерителем-регулятором температуры. Испытываемый датчик вставляется в отверстие на лицевой панели нагревателя и с помощью мультиметра измеряется его выходное напряжение или сопротивление.

Схемы электрические соединений при испытании датчиков температуры показаны на рис. 1.3.2, 1.3.3 и 1.3.4.

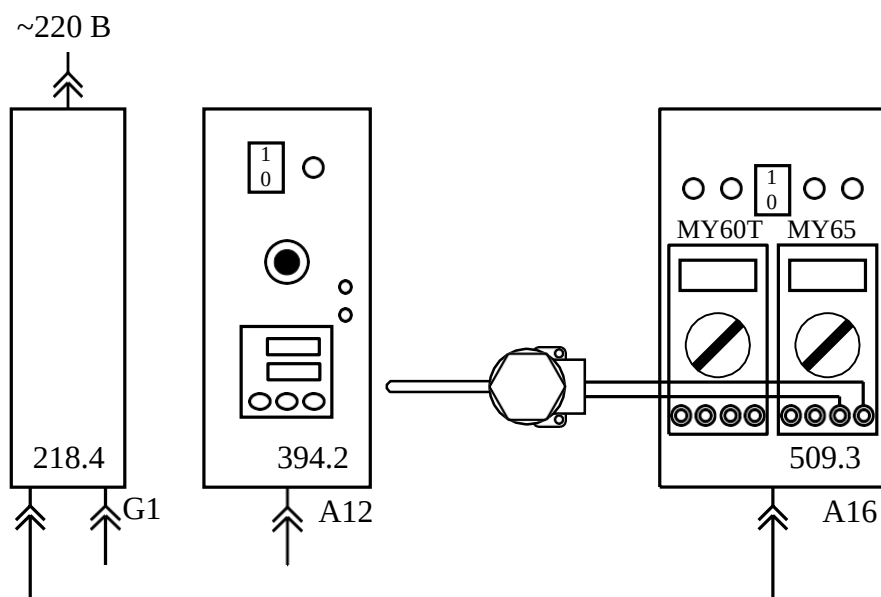


Рис. 1.3.2. Схема электрическая соединений при испытании термопреобразователя сопротивления и термоэлектрического преобразователя.

Термопреобразователь сопротивления ТС125-50М.В2.60 подключается по схеме рис. 1.3.2. Мультиметр МУ65 измеряет сопротивление термопреобразователя.

Термоэлектрический преобразователь ТПК225-010.60 (термопара) подключается по схеме рис. 1.3.2. Мультиметр МУ65 измеряет напряжение термопары (предел 200 мВ постоянного тока).

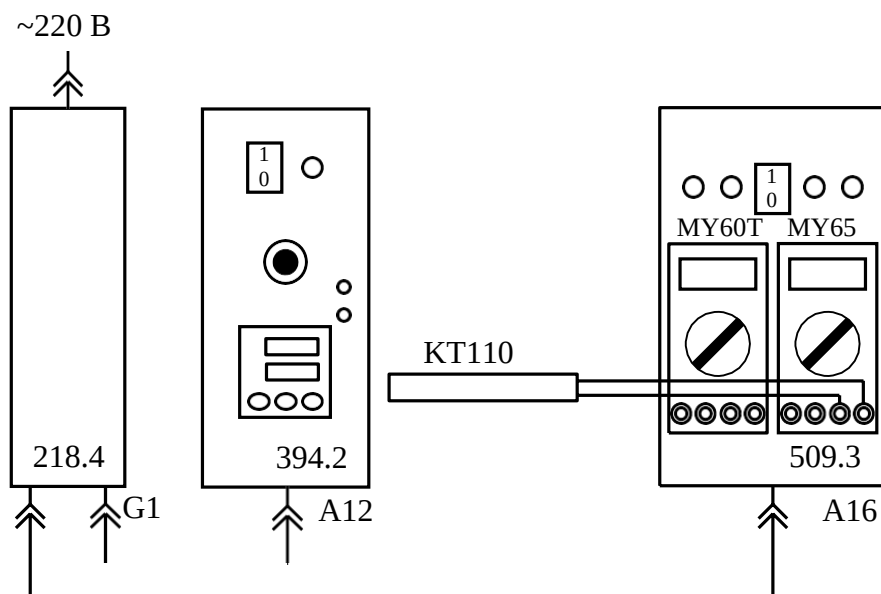


Рис. 1.3.3. Схема испытания полупроводникового терморезистора КТ110.

Полупроводниковый терморезистор КТ110 подключается по схеме рис. 1.3.3. Мультиметр МУ65 измеряет сопротивление терморезистора.

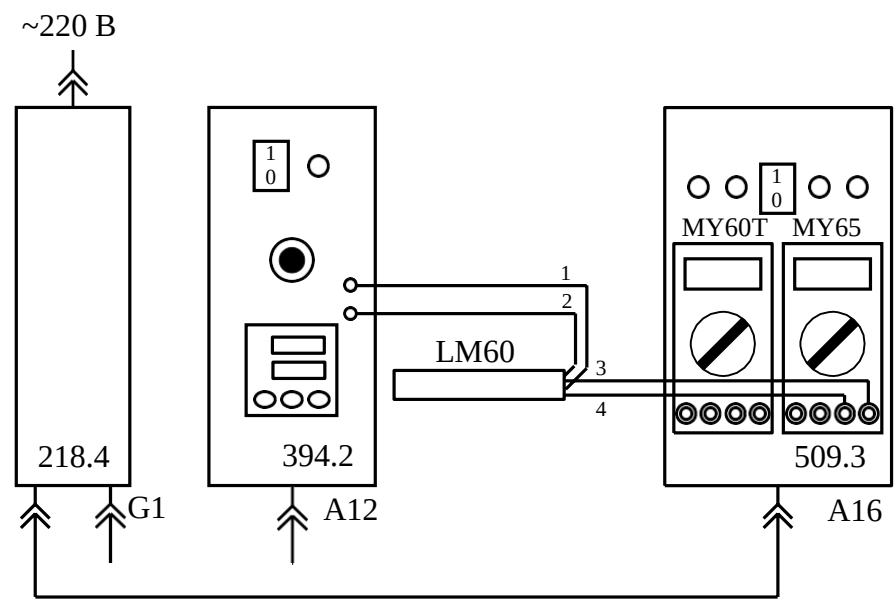


Рис. 1.3.4. Схема подключения датчика температуры LM60.

- 1 – питание +5 В (красный провод, штырь 2 мм);
- 2 – питание 0 В (синий провод, штырь 2 мм);
- 3 – выход датчика (черный провод, штырь 4 мм);
- 4 – выход 0 В (синий провод, штырь 4 мм);

Датчик температуры LM60 подключается по схеме рис. 1.3.4. Провода питания 1 (+5 В, тонкий красный) и 2 (0 В, тонкий синий, рис. 1.3.4) подключаются к соответствующим гнездам источника питания («+5 В» и «0 В») на лицевой панели электронагревателя А12 (394.2). Выходное напряжение датчика (черный толстый провод 3 – выход, синий толстый провод 4 – 0 В, рис. 1.3.4) подключаются к гнездам измерения напряжения мультиметра МУ65.

Однофазный источник питания G1 предназначен для безопасного питания блоков А12, А16.

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Однофазный источник питания	218.4	~ 220 В / 16 А
A12	Электронагреватель	394.2	30...100°С, источник +5 В,
	Набор датчиков температуры	600.13	4 датчика.
A16	Блок мультиметров	509.3	МУ60Т; МУ65

Методика и порядок выполнения работы

Указания по проведению эксперимента

- Проверьте схему электропитания блоков A12, A16 и G1. Убедитесь, что выключатели «СЕТЬ» этих блоков отключены.
- Соедините блоки в соответствии со схемой электрических соединений рис. 1.3.2, 1.3.3 или 1.3.4 в зависимости от типа испытываемого датчика.
- Выберите значения температуры, при которых Вы хотите измерить сигналы датчиков. Из-за инерционности нагревателя целесообразно выбрать не более 5...7 точек в диапазоне температур до 100°C. Начальное значение – комнатная температура.
- Включите устройство защитного отключения и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.
- Включите выключатель «СЕТЬ» блоков A12 (394.2) и A16 (509.3). **Внимание!** Мультиметр МУ65 (блок 509.3) неработоспособен, если он включен при нажатой кнопке «HOLD». Кнопку «HOLD» необходимо отжать.
- При включении питания автоматический режим регулятора температуры электронагревателя выключен. Установите требуемую температуру (см. раздел 1.3.1). Включите автоматический режим регулятора температуры. Начнется разогрев нагревателя (включены светодиоды индикаторов K1 и RS).
- Измерьте сигналы датчиков при комнатной температуре (схемы рис. 1.3.2...1.3.4). Для исключения нагрева датчиков от рук их необходимо брать за корпус вблизи выводов. Из-за равенства температур «холодного» и «горячего» спаев термоэлектрического преобразователя (термопары) его э.д.с. равна 0, а показания мультиметра, измеряющего эту э.д.с. могут быть нестабильны.
- После стабилизации температуры нагревателя вблизи заданного значения поочередно вставьте каждый из датчиков в отверстие нагревателя до упора. Выждите 2...3 минуты для стабилизации температуры и измерьте выходной сигнал датчика.
- Задайте следующее значение температуры, дождитесь её стабилизации и повторите измерения сигналов датчиков. При высоких температурах датчиков будьте осторожны: не касайтесь рабочей части датчика, извлеченного из нагревателя.
- По результатам измерений постройте графики зависимостей напряжения или сопротивления датчиков от температуры.
- По завершении измерений отключите питание всех блоков.
- По результатам испытания термопреобразователя сопротивления ТС125-50М.В2.60 определите погрешность измерения температуры встроенным датчиком электронагревателя. Для этого рассчитайте для каждого измеренного значения сопротивления ТС125-50М.В2.60 соответствующую ему температуру датчика по соотношению

$$t = \frac{R_t - R_0}{\alpha \cdot R_0}, \quad (*)$$

где R_t - сопротивление датчика при температуре t ;

$R_0 = 50 \text{ Ом}$ - номинальное сопротивление датчика при температуре $t=0^\circ\text{C}$;

$\alpha = 4,28 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ - температурный коэффициент сопротивления меди.

Сравните значения температуры, рассчитанные по сопротивлению датчика ТС125-50М.В2.60, и определенные по показаниям встроенного датчика электронагревателя. Определите погрешность измерения температуры.

Выходное напряжение ($U_{\text{днд}}$) датчика LM60 в милливольтках связано с температурой датчика ($T^\circ\text{C}$) соотношением $U_{\text{днд}} = 6,25 \times T + 424$.

При испытании термоэлектрического преобразователя ТПК225-010.60 (термопара ХА – хромель-алюмель) необходимо учесть температуру холодного спая, т.е. температуру окружающей среды (температура внутри корпуса датчика в месте подключения проводников термопары к выводам). Эта температура вычисляется по формуле (*) с использованием сопротивления термопреобразователя ТС125-50М.В2.60 при комнатной температуре. Используя найденную температуру окружающей среды, определите термо-э.д.с. холодного спая термопары по приведенной ниже таблице.

Измеренные в эксперименте значения термоэлектродвижущей силы термопары ХА (ТПК225-010.60) необходимо привести к нормальным условиям – температуре холодного спая 0°C. Для этого добавьте к измеренному значению термо-э.д.с. величину термо-э.д.с. холодного спая. Сравните полученные значения со стандартной характеристикой термопары ХА из таблицы.

Характеристика термопары ХА

Температура горячего спая, °C	Термо-э.д.с., мВ									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	0,039	0,079	0,119	0,158	0,198	0,238	0,277	0,317	0,357
10	0,397	0,437	0,477	0,517	0,557	0,597	0,637	0,677	0,718	0,758
20	0,798	0,838	0,879	0,919	0,960	1,000	1,041	1,081	1,122	1,163
30	1,203	1,244	1,285	1,326	1,366	1,407	1,448	1,489	1,530	1,571
40	1,612	1,653	1,694	1,735	1,776	1,817	1,858	1,899	1,941	1,982
50	2,023	2,064	2,106	2,147	2,188	2,230	2,271	2,312	2,354	2,395
60	2,436	2,478	2,519	2,561	2,602	2,644	2,685	2,727	2,768	2,810
70	2,851	2,893	2,934	2,976	3,017	3,059	3,100	3,142	3,184	3,225
80	3,267	3,308	3,350	3,391	3,433	3,474	3,516	3,557	3,599	3,640
90	3,682	3,723	3,765	3,806	3,848	3,889	3,931	3,972	4,013	4,055

Примечание.

При определении характеристики только одного датчика порядок выполнения эксперимента можно изменить.

- Соберите одну из схем рис. 1.3.2,...,1.3.4.
- Установите испытываемый датчик в отверстие нагревателя.
- Задайте температуру 100°C и включите автоматический режим регулятора температуры («Un», режим «РАБОТА», индикатор RS включен, см. раздел 1.3.1). Дождитесь установления заданной температуры и выключите автоматический режим регулятора («StoP», режим «СТОП», индикатор RS выключен).
- По мере снижения температуры нагревателя измерьте выходной сигнал датчика (напряжение или сопротивление в зависимости от типа датчика) при нескольких значениях температуры в диапазоне 100...30°C. Ориентировочное время остывания датчика 15...30 мин.
- Обработайте результаты эксперимента в соответствии с приведенными выше рекомендациями.

Термопреобразователь	Температура нагревателя, °C							
ТС125-								

50M.B2.60								
ТПК225-010.80								
датчика температуры LM60								
полупроводникового терморезистора КТ110								

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2 (4 часа)

Исследование устойчивости и качества линейной системы автоматического управления

Цель работы

Теоретическое и экспериментальное исследование влияния отдельных параметров системы на устойчивость и качество работы системы.

Теоретическое обоснование

Для нормального функционирования системы автоматического управления (САУ) необходимо, прежде всего, обеспечить устойчивость её движения. Однако устойчивость есть необходимое, но недостаточное условие, которое отвечало бы требованиям, предъявляемым к качеству системы автоматического управления. Задача исследования качества САУ

заключается в определении косвенных или прямых показателей качества таких, например, как максимальное перерегулирование σ_{MAX} , время переходного процесса $t_{\text{П}}$ или время регулирования $t_{\text{Р}}$ и др.

На рисунке 3.1 представлена типичная переходная характеристика $y(t)$, по которой можно определить основные показатели качества:

1) перерегулирование σ_{MAX} , %:

$$\sigma_{\text{MAX}} = \frac{y_{\text{MAX}} - y_{\text{уст}}}{y_{\text{уст}}} \cdot 100 \%, \quad (3.1)$$

где y_{MAX} – максимальное отклонение регулируемой величины;

$y_{\text{уст}}$ – установившееся значение, т. е. $y_{\text{уст}} = \lim_{t \rightarrow \infty} y(t)$;

2) время переходного процесса $t_{\text{П}}$ (время регулирования $t_{\text{Р}}$) – время, в течение которого отклонение регулируемой координаты достигает величины, не превосходящей заданного допустимого значения $\Delta_{\text{доп}} = \pm 5\%$ от установившейся величины $y_{\text{уст}}$;

3) колебательность $n_{\text{Р}}$ характеризует число колебаний регулируемой величины $y(t)$ в течение времени переходного процесса $t_{\text{Р}}$.

Помимо основных показателей качества при проектировании системы автоматического управления часто используют следующие характеристики:

1) собственная частота колебаний системы:

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi}{t_0}, \quad (3.2)$$

где t_0 – период собственных колебаний системы;

2) логарифмический декремент затухания системы, характеризующий быстроту затухания колебательного процесса:

$$a = \ln \frac{A_{i \text{ MAX}}}{A_{i+1 \text{ MAX}}}, \quad (3.3)$$

где $A_{i \text{ MAX}}$ и $A_{i+1 \text{ MAX}}$ – две амплитуды для рядом расположенных экстремумов кривой переходного процесса;

3) максимальная скорость отработки регулируемой величины $\left[\frac{dy}{dt} \right]_{\text{MAX}}$.

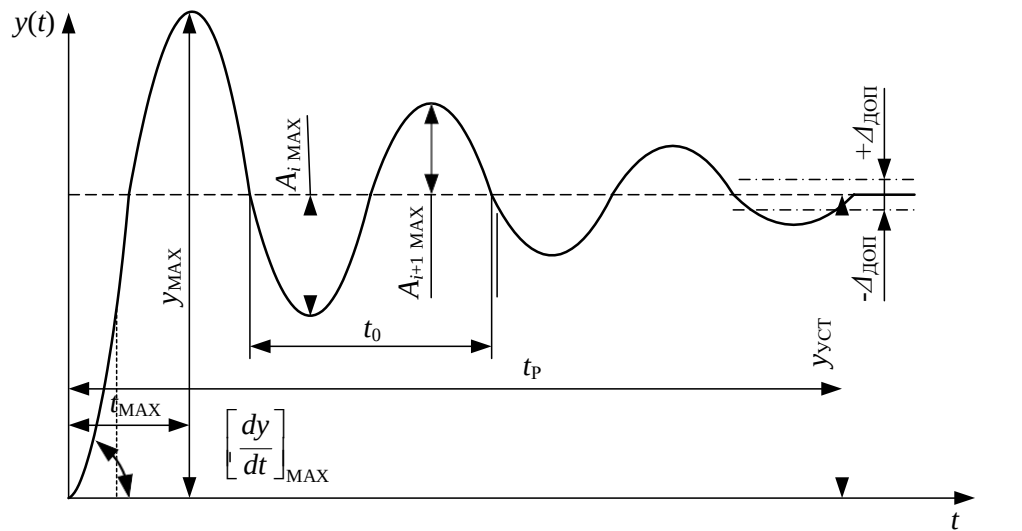


Рисунок 3.1 – Общий вид переходной характеристики линейной САУ

В лабораторной работе исследуется система, структурная схема которой представлена на рисунке 3.2, где УУ – устройство управления; ОУ – объект управления.

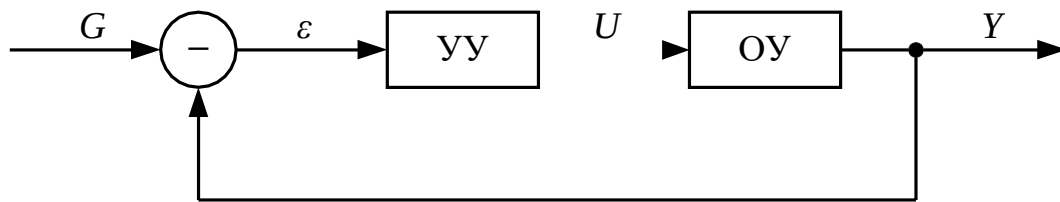


Рисунок 3.2 – Структурная схема САУ

Объект управления описывается передаточной функцией вида:

$$W_o(p) = \frac{K_o}{(T_{o1} \cdot p + 1) \cdot (T_{o2} \cdot p + 1)}, \quad (3.4)$$

где K_o – коэффициент передачи объекта управления;

T_{o1}, T_{o2} – постоянные времени объекта управления, с;

p – оператор Лапласа.

В качестве управляющего устройства поочередно используются три типа регуляторов:

– пропорциональный (П) регулятор, имеющий передаточную функцию:

$$W(p) = K_{\Pi}, \quad (3.5)$$

где K_{Π} – коэффициент передачи пропорционального блока;

– интегральный (И) регулятор, имеющий передаточную функцию:

$$W(p) = \frac{1}{T_{\text{И}} \cdot p}, \quad \text{—} \quad (3.6)$$

где $T_{\text{И}}$ – постоянная времени интегратора, с;

– пропорционально-интегральный (ПИ) регулятор, имеющий передаточную функцию:

$$W(p) = K_{\text{П}} + \frac{1}{T_{\text{И}} \cdot p}. \quad \text{—} \quad (3.7)$$

При исследовании САУ важно не только установить, устойчива система или нет, но и определить граничные значения параметров управляющего устройства (параметры объекта управления считаются неизменными), при которых сохраняется устойчивость системы, намечаются пути устранения неустойчивости.

При исследовании устойчивости линейных систем широко используется алгебраический критерий устойчивости Гурвица, представляющий собой формулировку необходимых и достаточных условий, которым должны удовлетворять определенные соотношения между коэффициентами характеристического уравнения САУ:

$$a_0 \cdot p^n + a_1 \cdot p^{n-1} + \dots + a_n = 0. \quad (3.8)$$

Условия устойчивости, вытекающие из критерия Гурвица для системы с характеристическими уравнениями второй и третьей степени, имеют вид:

$$\text{для } n=2: \quad a_0 > 0, \quad a_1 > 0, \quad a_2 > 0; \quad (3.9)$$

$$\text{для } n=3: \quad a_0 > 0, \quad a_1 > 0, \quad a_2 > 0; \quad a_3 > 0; \quad (3.9a)$$

$$a_1 \cdot a_2 - a_0 \cdot a_3 > 0. \quad (3.9б)$$

Для больших степеней составляется матрица Гурвица, старший определитель которой имеет вид:

$$\Delta_n = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & \dots & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & a_n \end{vmatrix}. \quad (3.10)$$

Если все определители матрицы Гурвица больше нуля, то система устойчива. В общем виде характеристическое уравнение исследуемой замкнутой системы имеет вид:

$$1 + W_o(p) \cdot W_p(p) = 0. \quad (3.11)$$

где $W_o(p)$ – передаточная функция объекта управления;

$W_p(p)$ – передаточная функция регулятора.

Для обеспечения устойчивости системы для регуляторов И и ПИ типов требуется подобрать постоянную времени интегратора $T_{\text{И}}$. Область возможных значений постоянной времени интегратора определяется неравенством:

для И-регулятора:

$$T_{\text{И}} > \frac{K_o \cdot T_{o1} \cdot T_{o2}}{T_{o1} + T_{o2}}; \quad (3.12)$$

для ПИ-регулятора:

$$T_{\text{И}} > \frac{K_o \cdot T_{o1} \cdot T_{o2}}{(T_{o1} + T_{o2}) \cdot (1 + K_{\text{П}} \cdot K_o)}. \quad (3.13)$$

Из сопоставления неравенств (3.12) и (3.13) следует, что для системы с ПИ-регулятором данные условия являются менее жёсткими, т. е. постоянная времени интегратора может изменяться в более широких пределах при сохранении устойчивости.

При включении П-регулятора характеристическое уравнение системы имеет второй порядок и согласно критерию Гурвица (3.9) система устойчива при любых значениях параметров.

Следовательно, с точки зрения устойчивости, система с объектом второго порядка с П-регулятором имеет предпочтение перед системами с И- и ПИ-

регуляторами, которые, повышая порядок системы, ограничивают область устойчивости.

При схемотехнической и программной реализации рассмотренных регуляторов удобнее пользоваться коэффициентом передачи интегрирующего блока, который является обратной величиной по отношению к постоянной времени:

$$K_{\text{и}} = \frac{1}{T_{\text{и}}} \quad \text{—} \quad (3.14)$$

Тогда значения оптимального коэффициента передачи интегрирующего блока будет равен:

для И-регулятора:

$$K_{\text{и}} = \frac{0,67}{K_{\text{о}} \cdot T_{\text{о1}}} \quad \text{—} \quad (3.15)$$

для ПИ-регулятора:

$$K_{\text{и}} = \frac{2 \cdot (1 + K_{\text{п}} \cdot K_{\text{о}})}{K_{\text{о}} \cdot T_{\text{о1}} \cdot (3 + K_{\text{п}} \cdot K_{\text{о}})} \quad (3.16)$$

Аппаратура и материалы

Для выполнения лабораторной работы необходим специализированный стенд СУЛ-3.

Указание по технике безопасности

1. Перед началом занятий в лаборатории всем студентам необходимо ознакомиться с настоящими методическими указаниями, пройти у преподавателя инструктаж по технике безопасности для студентов в лабораториях кафедры «Физики, электротехники и электроники» Северо-Кавказского Федерального университета и поставить личные подписи в журнале инструктажа. Студенты, не прошедшие инструктаж по технике безопасности, к занятиям не допускаются.

2. Перед началом сборки коммутационной цепи следует убедиться в том, что стенд обесточен. Во время проведения работы на лабораторном столе не должно быть посторонних предметов: чертежей, книг и т. д.
3. Питание стенда осуществляется на переменном напряжении 220 В, опасном для жизни, поэтому все работы должны производиться не менее, чем двумя студентами. О включении напряжения следует предупредить всех членов бригады, совместно выполняющих работу.
4. В ходе работы запрещается оставлять включенную схему без наблюдения. После окончания испытания или при перерыве в работе схему отключают тумблером «Сеть».
5. При неисправности в аппаратах, приборах или проводах схему отключают и сообщают об этом преподавателю. **Категорически запрещается выполнять работы на неисправных установках!**
6. Разборку схемы осуществлять по разрешению преподавателя после предъявления ему протокола испытаний.
7. Студент обязан немедленно сообщить преподавателю обо всех нарушениях техники безопасности.

Методика и порядок выполнения работы

Методика выполнения работы

1. При задании суммарных коэффициентов передачи $K_{ПΣ} = K_{П} \cdot C_{П}$, $K_{ИΣ} = K_{И} \cdot C_{И}$, $K_{ОΣ} = K_{О} \cdot C_{О}$ следует учитывать, что постоянные коэффициенты имеют значения $K_{П} = 1$, $K_{И} = 1 \text{ с}^{-1}$, $K_{О} = 10$. Коэффициенты передачи потенциометров $C_{П}$, $C_{И}$ и $C_{О}$ могут задаваться в пределах $0,05 \div 1$. Интегрирующий блок имеет два диапазона: $K_{И}$ и $10K_{И}$, т. е. позволяет получить постоянные коэффициенты передачи 1 с^{-1} и 10 с^{-1} .
2. При подготовке схемы моделирования следует отключить ненужные блоки путем установки потенциометров $C_{Н}$, $C_{Д}$ в положение нулевого коэффициента передачи. Тумблеры в цепях обратной связи модели объекта

управления и выходного сигнала управляющего устройства следует поставить в нижнее положение.

3. Для всех экспериментов следует выбрать задающее воздействие $g(t)=0,5\div 1(t)$. Величину задающего воздействия следует отрегулировать соответствующим потенциометром после подачи команды «Пуск».

4. При определении времени переходного процесса переключатель секундомера следует установить в положение «от ε ».

Порядок выполнения работы

1. Собрать схему моделирования САУ (рисунок 3.3), задав параметры в соответствии с таблицей 3.1.

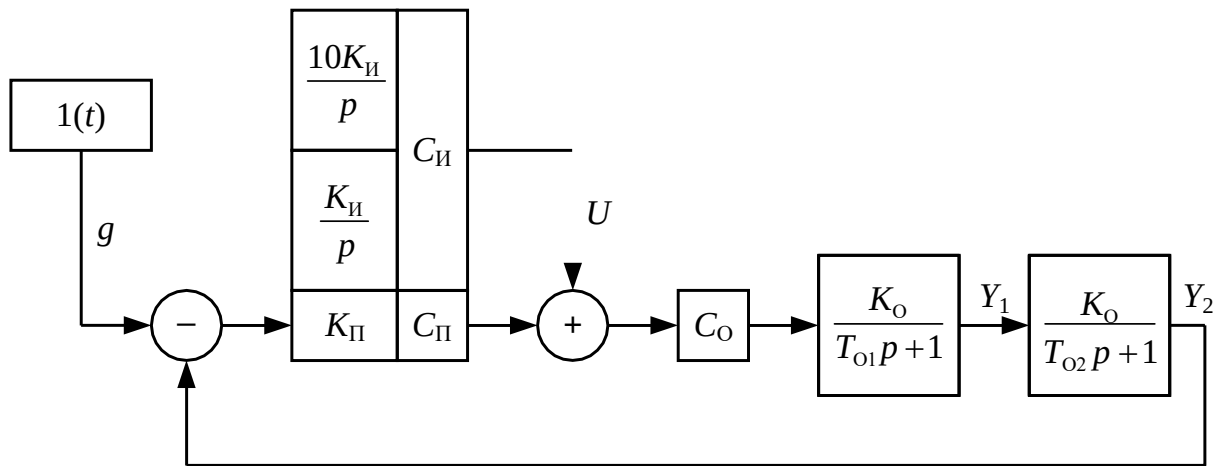


Рисунок 3.3 – Схема моделирования САУ

Таблица 3.1

Тип регулятора	Параметры САУ				
	K_{Π}	$K_{\text{И}}$	$K_{\text{О}}$	$T_{\text{О1}}$	$T_{\text{О2}}$
П	0,05÷1	0	10	1 с	1 с
И	0	0,05÷10 с ⁻¹	1	1 с	1 с
ПИ	1	0,05÷10 с ⁻¹	1	1 с	1 с

2. Рассчитать область возможных значений суммарного коэффициента передачи интегрирующего блока $K_{\text{ИС}}$, при котором выполняется условие устойчивости САУ. Расчёт выполнить отдельно для И- и ПИ-регуляторов с учётом приведённых в таблице параметров.

3. Снять экспериментально зависимость $y_{уст}=f(K_{пс})$ для САУ с П-регулятором.
4. Проверить экспериментально выполнение условий устойчивости для И- и ПИ-регуляторов.
5. Рассчитать оптимальные значения суммарного коэффициента передачи интегрирующего блока $K_{и}$ для И- и ПИ-регуляторов. Проверить выполнение условий устойчивости при $K_{и}=K_{опт}$.
6. Для САУ с И-, ПИ-регуляторами экспериментально исследовать переходной процесс. Определить величину перерегулирования и время переходного процесса при следующих значениях суммарного коэффициента передачи интегрирующего блока
- $$K_{и}=0,2 \cdot K_{и \text{ опт}},$$
- $$K_{и}=K_{и \text{ опт}},$$
- $$K_{и}=2 K_{и \text{ опт}}.$$
7. Для установившегося переходного процесса всех типов регуляторов определить величину основных и неосновных показателей качества.
- Для определения условий устойчивости САУ при различных типах регуляторов, решить уравнение (3.11), подставив соответствующие значения $W_p(p)$ и $W_o(p)$.

Содержание отчёта и его форма

Отчёт должен иметь титульный лист, на котором указывается:

- наименование вуза, кафедры;
- номер и название лабораторной работы, дисциплина, по которой выполняется работа;
- номер группы, фамилия и инициалы студента; данные о преподавателе, под руководством которого выполняется работа;
- город, год выполнения.

Отчёт должен содержать:

- цель и содержание работы;

- схему установки;
- результаты измерений и аналитических расчётов в виде таблиц и графиков, расчётные выражения;
- выводы по результатам работы.

Выполненную работу студент должен защитить, для чего даётся ряд контрольных вопросов.

Вопросы для защиты работы

1. Как влияет тип регулятора на устойчивость системы?
2. Какие существуют показатели качества переходного процесса?
3. Как влияют параметры П-, И-, ПИ-регуляторов на переходной процесс системы?
4. Как определить устойчивость системы по критерию Гурвица?
5. Как находятся значения оптимального суммарного коэффициента передачи интегрирующего блока?
6. Какой вид имеет характеристическое уравнение системы с ПИ-регулятором?
7. Запишите выражение области возможных значений постоянной времени интегратора при использовании И- и ПИ-регуляторов.

Литература: [1, 2, 4 – 8].

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3 (4 часа)

Экспериментальное определение параметров динамических характеристик линейных звеньев систем автоматического управления

Цель и содержание

Экспериментальное исследование динамических характеристик моделей линейных звеньев систем автоматического управления (САУ) и определение их параметров по переходным характеристикам.

Теоретическое обоснование

При создании системы управления технологическим процессом или промышленным объектом необходимо иметь математическое описание объекта управления, управляющего устройства и других элементов, входящих в систему, которые в дальнейшем будем называть звеньями САУ. Математическое описание или математическая модель звена представляет собой совокупность дифференциальных и алгебраических уравнений связи между входными и выходными сигналами.

Алгебраические уравнения описывают установившееся состояние, когда все производные входных и выходных сигналов равны нулю и называются **уравнениями статики**.

Дифференциальные уравнения характеризуют поведение системы во времени при изменении входных воздействий и называются **уравнениями динамики**.

Для получения динамических характеристик применяют аналитические и экспериментальные методы. Аналитические методы основаны на законах физики, химии, электротехники и т. д. Часто оказываются эффективными сочетание аналитических методов с экспериментальными. При этом аналитическим путём находят структуру уравнений связи, а числовые значения коэффициентов уравнений определяют экспериментально.

Все экспериментальные методы базируются на предположении о сосредоточенности параметров звена (системы), стационарности во время его динамических свойств и линейности их при малых изменениях входных воздействий.

Совокупность рассмотренных допущений позволяет описать динамические свойства отдельного звена или системы управления математическими выражениями следующего вида:

1) дифференциальным уравнением:

$$\begin{aligned} a_n \cdot \frac{d^n y(t)}{dt^n} + a_{n-1} \cdot \frac{d^{n-1} y(t)}{dt^{n-1}} + \dots + a_0 \cdot y(t) = \\ = b_m \cdot \frac{d^m x(t)}{dt^m} + b_{m-1} \cdot \frac{d^{m-1} x(t)}{dt^{m-1}} + \dots + b_0 \cdot x(t). \end{aligned} \quad (4.1)$$

где $x(t)$ – входное воздействие;

$y(t)$ – выходной сигнал (управляемая переменная);

$a_n, a_{n-1}, \dots, a_0; b_m, b_{m-1}, \dots, b_0$ – постоянные коэффициенты, определяемые физическими параметрами звена (системы);

m, n – количество входных воздействий и выходных сигналов соответственно (для физически реализуемых систем $m < n$);

2) передаточной функцией:

$$W(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{\sum_{i=1}^n b_i \cdot p^i}{\sum_{k=1}^m a_k \cdot p^k} \quad (4.2)$$

где p – оператор Лапласа;

$Y(p)$ и $X(p)$ – изображения $y(t)$ и $x(t)$ соответственно;

3) комплексной передаточной функцией или амплитудно-фазовой характеристикой (АФХ):

$$W(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)} = \frac{\sum_{i=1}^n b_i \cdot (j\omega)^i}{\sum_{k=1}^m a_k \cdot (j\omega)^k} \quad (4.3)$$

где $j = \sqrt{-1}$; ω – частота;

$Y(j\omega)$ и $X(j\omega)$ – преобразование Фурье сигналов $y(t)$ и $x(t)$ соответственно.

Переходной характеристикой $h(t)$ называется реакция звена (системы) на единичное ступенчатое воздействие $x(t)=1(t)$ при нулевых начальных условиях.

Единичная ступенчатая функция представляет собой мгновенное изменение величины воздействия на единицу (рисунок 4.1):

$$1(t) = \begin{cases} 1 & \text{при } t \geq 0 \\ 0 & \text{при } t < 0 \end{cases} \quad (4.4)$$

Ступенчатый сигнал характеризуется амплитудой спектра, быстро убывающей с ростом частоты, причём, максимум спектра достигается при $\omega=0$. Кроме того, спектр физически реализуемого сигнала ограничен сверху частотой $\frac{2\pi}{v}$, где v – скорость нарастания сигнала (рисунок 4.2).

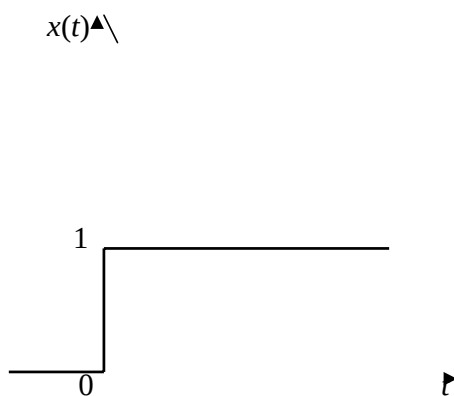


Рисунок 4.1 – Единичный ступенчатый сигнал

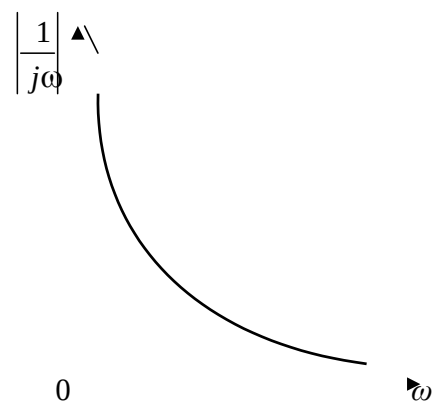


Рисунок 4.2 – Спектр ступенчатого сигнала

Из сказанного следует, что с помощью единичного скачка может быть получена достаточно надёжная оценка статического коэффициента передачи ($\omega=0$), а также низкочастотной части динамической характеристики (постоянной времени наиболее низкочастотного контура) исследуемого звена. Рассматриваемый метод определения динамических характеристик наиболее эффективен для систем первого и второго порядков, реже для апериодических систем высоких порядков.

При известной передаточной функции звена $W(p)$ переходная характеристика $h(t)$ определяется аналитически, как обратное преобразование Лапласа:

$$h(t) = L^{-1} \left\{ \frac{W(p)}{p} \right\} = \sum_{i=1}^m \frac{1}{(k_i - 1)!} \cdot \lim_{p \rightarrow p_i} \frac{d^{k_i-1}}{dp^{k_i-1}} \left[\frac{W(p)}{p - p_i} e^{p_i t} \right], \quad (4.5)$$

где m – число полюсов функции $\frac{W(p)}{p}$;

k_i – кратность i -го полюса.

В таблице 4.1 приведены наиболее распространённые переходные характеристики звеньев САУ, показаны примеры аппроксимации каждой характеристики передаточными функциями типовых звеньев, а также способы определения их параметров.

Аппаратура и материалы

Для выполнения лабораторной работы необходим специализированный стенд СУЛ-3 и осциллограф.

Указание по технике безопасности

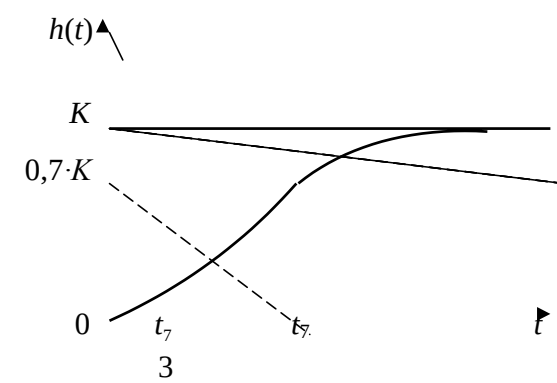
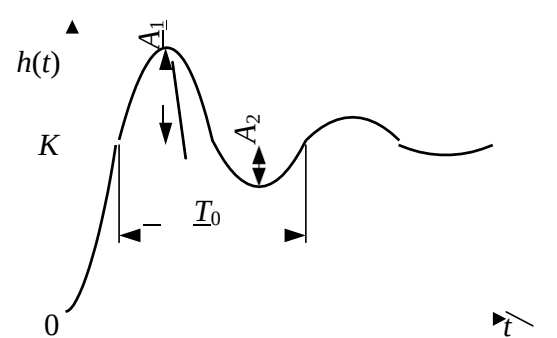
1. Перед началом занятий в лаборатории всем студентам необходимо ознакомиться с настоящими методическими указаниями, пройти у преподавателя инструктаж по технике безопасности для студентов в лабораториях

Таблица 4.1 – Наиболее распространённые переходные характеристики звеньев САУ

По- зи- ция	Аппроксимация переходных характеристик динамических звеньев	Аналитические выражения аппроксимирующих функций
1	2	3
1	$h(t)$ касательная $\left. \frac{dh(t)}{dt} \right _{t=0}$ K $0,63 \cdot K$ 0 T $\arctg \frac{K}{T}$ $h(t)_{t=T} = K \cdot \left(1 - e^{-1} \right) = 0,63 \cdot K$ $\left. \frac{dh}{dt} \right _{t=0} = \frac{K}{T} \cdot e^{-\frac{t}{T}} \Big _{t=0} = \frac{K}{T}$	$W(p) = \frac{K}{T \cdot p + 1}$ $h(t) = K \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right)$
2	$h(t)$ $\frac{K}{T}$ $\arctg \left(-\frac{K}{T^2} \right)$ $0,37 \cdot \frac{K}{T}$ 0 T касательная $\left. \frac{dh(t)}{dt} \right _{t=0}$ $h(t)_{t=T} = \frac{K}{T} \cdot e^{-1} = 0,37 \cdot \frac{K}{T}$ $\left. \frac{dh(t)}{dt} \right _{t=0} = -\frac{K}{T^2} \cdot e^{-\frac{t}{T}} \Big _{t=0} = -\frac{K}{T^2}$	$W(p) = \frac{K \cdot p}{T \cdot p + 1}$ $h(t) = \frac{K}{T} \cdot e^{-\frac{t}{T}}$
3	$h(t)$ $K \cdot (t-T)$ $K \cdot T$ $K \cdot T \cdot e^{-\frac{t}{T}}$ $0,37 \cdot K \cdot T$ 0 T $\arctg K$	$W(p) = \frac{K \cdot p \cdot (T \cdot p + 1)}{p \cdot (T \cdot p + 1)}$ $h(t) = K \cdot \left[t - T \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) \right]$ $= K \cdot (t - T) + K \cdot T \cdot e^{-\frac{t}{T}}$

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3
---	---	---

	$h(t) = 0,37 \cdot K \cdot T$ $\left. \frac{dh(t)}{dt} \right _{t=0} = 0$	
4	 $T_1 + T_2 = t_3$ $T_1 - T_2 = \sqrt{\frac{h_4 - 0,191 \cdot K}{0,143 \cdot K}}$ $(T_1 > T_2)$ $\left. \frac{dh(t)}{dt} \right _{t=0} = 0$	$W(p) = \frac{K}{(T_1 \cdot p + 1) \cdot (T_2 \cdot p + 1)}$ $h(t) = K \cdot \left[1 - \frac{T_1}{T_1 - T_2} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{T_2}{T_1 - T_2} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} \right]$
5	 $\xi = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{2 \cdot \pi}{\ln a} \right)^2}}$ $a = \frac{A_1}{A_2}$ $T = T_0 \cdot \frac{\xi}{\ln a}$ $\left. \frac{dh(t)}{dt} \right _{t=0} = 0$	$W(p) = \frac{K}{T^2 \cdot p^2 + 2 \cdot \xi \cdot T \cdot p + 1}$ $h(t) = K \cdot \left[1 - \frac{e^{-\xi \cdot t}}{\omega_0 \cdot T} \cdot \sin(\omega_0 \cdot t + \varphi) \right]$ $\varphi = \arcsin(\omega_0 \cdot T)$ $\omega_0 = \frac{\sqrt{1 - \xi^2}}{T}$

кафедры «Теоретической и общей электротехники» Северо-Кавказского государственного технического университета и поставить личные подписи в журнале инструктажа. Студенты, не прошедшие инструктаж по технике безопасности, к занятиям не допускаются.

2. Перед началом сборки цепи следует убедиться в том, что стенд обесточен. Во время проведения работы на лабораторном столе не должно быть посторонних предметов: чертежей, книг и т. д.
3. Питание стенда осуществляется на переменном напряжении 220 В, опасном для жизни, поэтому все работы должны производиться не менее, чем двумя студентами. О включении напряжения следует предупредить всех членов бригады, совместно выполняющих работу.
4. В ходе работы запрещается оставлять включенную схему без наблюдения. После окончания испытания или при перерыве в работе схему отключают тумблером «Сеть».
5. При неисправности в аппаратах, приборах или проводах схему отключают и сообщают об этом преподавателю. **Категорически запрещается выполнять работы на неисправных установках!**
6. Разборку схемы осуществлять по разрешению преподавателя после предъявления ему протокола испытаний.
7. Студент обязан немедленно сообщить преподавателю обо всех нарушениях техники безопасности.

Методика и порядок выполнения работы

Методика выполнения работы

1. Параметры динамических звеньев задаются на панели управления системы. Генераторы случайного сигнала $N(t)$ в данной лабораторной работе не используются. Поэтому потенциометр C_N следует установить в положение нулевого коэффициента передачи. Следует также отключить, нелинейные элементы и элемент задания начальных условий (НУ), установив соответствующие тумблеры в нижнее положение. Структурная схема модели, из которой исключены ненужные элементы, должна соответствовать рисунку 4.3.

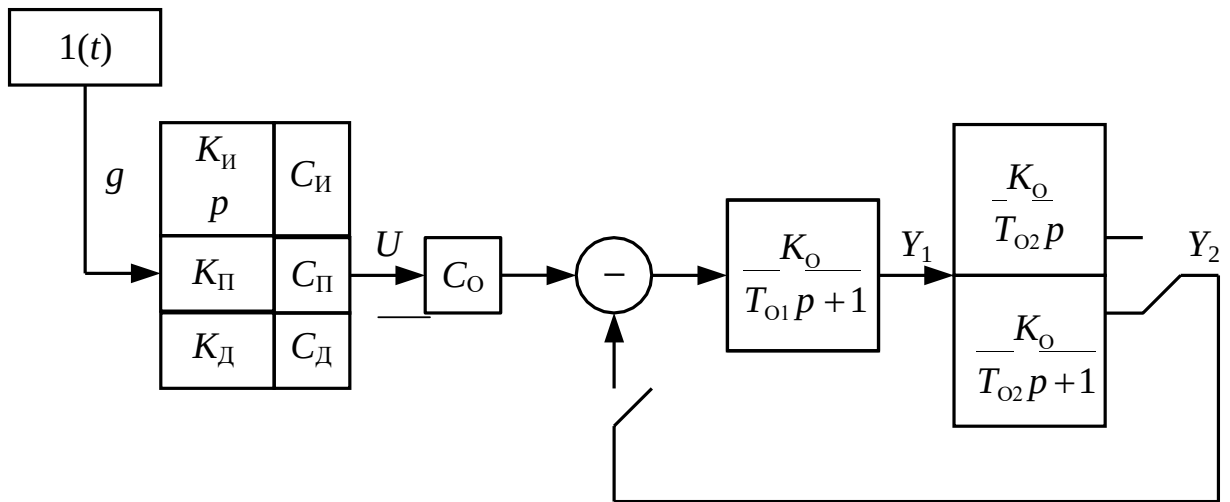


Рисунок 4.3 – Схема моделирования САУ

2. На вход модели подать сигнал $g(t)=1(t)$. Выходной сигнал модели наблюдается с помощью высокочастотного вольтметра и осциллографа, которые постоянно подключены к управляющей системе. Вход осциллографа следует подключить к точке Y_2 .

3. При исследовании звеньев 1, 4, 5 устанавливается $C_{\Pi}=1$, при этом коэффициент передачи пропорциональной ветви управляющего устройства становится равным единице ($K_{\Pi}=1$; $C_{\Pi} \cdot K_{\Pi}=1$).

Для звена 2, имеющего дифференцирующий элемент; задаётся $C_{\text{Д}}=1$ ($K_{\text{Д}}=1 \text{ с}^{-1}$; $C_{\text{Д}} \cdot K_{\text{Д}}=1 \text{ с}^{-1}$).

Для звена 3, имеющего интегрирующий элемент; задаётся $C_{\text{И}}=1$ ($K_{\text{И}}=1 \text{ с}^{-1}$; $C_{\text{И}} \cdot K_{\text{И}}=1 \text{ с}^{-1}$), при этом тумблер находится в нижнем положении.

Коэффициент передачи всех звеньев устанавливается потенциометром $C_{\text{О}}$. Требуемый коэффициент (соответствующий варианту таблицы 4.2) получается как произведение $C_{\text{О}} \cdot K_{\text{О}}$ ($K_{\text{О}}=10$).

4. При исследовании колебательного звена в модели объекта управления вводится отрицательная обратная связь (тумблер в цепи интегрирующего входа сумматора модели ставится в верхнее положение). Во всех остальных случаях тумблер ставится в нижнее положение, т. е. обратная связь отключена.

Тумблер выходного сигнала Y_2 ставится в верхнее положение. В этом случае передаточная функция исследуемого звена определяется с помощью преобразования:

$$W(p) = \frac{K_o}{1 + \frac{(T_{o1} \cdot p + 1) \cdot T_{o2} \cdot p}{K_o}} = \frac{T_{o1} \cdot T_{o2} \cdot p^2 + \frac{T_{o2}}{K_o} \cdot p + 1}{\frac{T_{o1} \cdot T_{o2} \cdot p^2}{K_o} + \frac{T_{o2}}{K_o} \cdot p + 1} = \frac{K}{T^2 \cdot p^2 + 2 \cdot \xi \cdot T \cdot p + 1} \quad (4.6)$$

где $T = \sqrt{\frac{T_{o1} \cdot T_{o2}}{K_o}};$

$$\xi = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{T_{o2}}{K_o \cdot T_{o1}}}.$$

При фиксированном значении коэффициента передачи $K_o=10$ получим

$$T = 0,136 \cdot \sqrt{T_{o1} \cdot T_{o2}};$$

$$T = 0,158 \cdot \sqrt{\frac{T_{o2}}{T_{o1}}}.$$

Данные значения используются при проверке соответствия полученных экспериментальных данных известным заданным параметрам колебательного звена.

5. При исследовании динамических звеньев следует учитывать, что они реализованы на интегральных операционных усилителях, линейный участок статической характеристики которых лежит в пределах от -10 В до +10 В. Поэтому следует подобрать сигнал таким образом, чтобы при переходных процессах переменная Y_2 принимала значения $\pm 5 \text{ В} \div \pm 6 \text{ В}$. При слишком малых значениях переменной Y_2 (менее $\pm 0,5 \text{ В}$) могут сказаться шумы операционных усилителей. При работе с интегрирующим звеном (пункт 3 в таблице 4.2) кривая переходного процесса будет отличаться от теоретической наличием зоны насыщения при $Y_2 > 10 \text{ В}$ и $Y_2 < -10 \text{ В}$.

Порядок выполнения работы

1. Провести экспериментальное исследование переходных характеристик динамических звеньев, приведённых в таблице 4.2. Варианты параметров звеньев получить у преподавателя.
2. Сопоставить результаты эксперимента с заданными параметрами звеньев. В случае существенных различий (более 20 %) установить причину и повторить эксперимент.
3. Провести экспериментальное исследование переходных характеристик динамических звеньев при неизвестных параметрах ($T_{x1}, \dots, T_{xi}, \dots$).

Таблица 4.2 – Варианты параметров динамических звеньев

По- зи- ция	Передаточная функция	Пара- метры	Варианты			
			1	2	3	4
1	$W(p) = \frac{C_o \cdot K_o}{T_{o1} \cdot p + 1}$	$C_o \cdot K_o$	1	3	1	3
		T_{o1}	0,01	0,05	T_{x1}	T_{x2}
2	$W(p) = \frac{C_o \cdot K_o \cdot p}{T_{o1} \cdot p + 1}$	$C_o \cdot K_o$	1	2	1	2
		T_{o1}	0,02	0,01	T_{x1}	T_{x2}
3	$W(p) = \frac{C_o \cdot K_o}{p \cdot (T_{o1} \cdot p + 1)}$	$C_o \cdot K_o$	1	4	1	2
		T_{o1}	0,02	0,25	T_{x1}	T_{x2}
4	$W(p) = \frac{C_o \cdot K_o}{(T_{o1} \cdot p + 1) \cdot (T_{o2} \cdot p + 1)}$	$C_o \cdot K_o$	1	2	2	4
		T_{o1}	0,5	0,01	T_{x1}	T_{x2}
		T_{o2}	0,05	0,25	T_{x3}	T_{x4}
5	$W(p) = \frac{C_o \cdot K_o}{T^2 \cdot p^2 + 2 \cdot \xi \cdot T \cdot p + 1}$	$C_o \cdot K_o$	1	0,5	1	1
		T_{o1}	0,5	0,1	T_{x1}	T_{x2}
		T_{o2}	0,25	0,02	T_{x3}	T_{x4}

Содержание отчёта и его форма

Отчёт должен иметь титульный лист, на котором указывается:

- наименование вуза, кафедры;
- номер и название лабораторной работы, дисциплина, по которой выполняется работа;
- номер группы, фамилия и инициалы студента; данные о преподавателе, под руководством которого выполняется работа;
- город, год выполнения.

Отчёт должен содержать:

- цель и содержание работы;
- схему установки;
- результаты измерений и аналитических расчётов в виде таблиц и графиков, расчётные выражения;
- выводы по результатам работы.

Выполненную работу студент должен защитить, для чего даётся ряд контрольных вопросов.

Вопросы для защиты работы

1. Как записывается дифференциальное уравнение звена или системы?
2. Что такое передаточная функция?
3. Что такое аналитическая переходная характеристика?
4. Как записываются передаточные функции и переходные характеристики:
 - а) апериодического звена 1-го порядка;
 - б) колебательного звена;
 - в) апериодического звена 2-го порядка;
 - г) реального дифференцирующего звена;
 - д) реального интегрирующего звена?
5. Перечислить параметры отдельных звеньев и объяснить их физический смысл.
6. Объяснить способы вычисления параметров звеньев по экспериментальным переходным характеристикам.
7. Какова сущность преобразования Лапласа?
8. Привести примеры исследуемых звеньев из своей отрасли промышленности.

Литература: [1, 2, 4 – 8].

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4 (4 часа)

Программируемый контроллер. Управление программируемым контроллером.

Цель экспериментов – приобретение навыков управления контроллером и его программирования, в тестировании заложенных в контроллер основных и специальных логических функций, а также их комбинаций.

4.1. Управление программируемым контроллером

4.1.1. Исходное состояние программируемого контроллера

При включении программируемый контроллер может быть в следующих состояниях:

1. Если в LOGO! или в установленном программном модуле (дополнительный блок, подключаемый к разъему на лицевой панели контроллера) нет программы, то LOGO! отображает сообщение: «No Program /Press ESC» (Нет программы / Нажмите ESC).

2. Если в программном модуле есть программа, она автоматически копируется в LOGO! Коммутационная программа, находившаяся в LOGO!, удаляется.

3. Если в LOGO! есть коммутационная программа, то LOGO! принимает рабочее состояние, которое у него было до выключения питания: или RUN (т. е. выполнение программы), или STOP (коммутационная программа остановлена).

4.1.2. Работа с меню программируемого контроллера

Для управления программируемым контроллером на его лицевой панели расположены кнопки «ESC», «OK» и кнопки перемещения курсора - ▲, ►, ▼, ◀. Ниже последовательность выбора команд из меню программируемого контроллера будем изображать упрощенно, например

ESC>Stop>Yes.

Приведенный пример подразумевает выполнение следующих действий:

- 1). Нажать кнопку «ESC» на панели контроллера.
- 2). Кнопками перемещения (▲, ▼) перевести курсор (>) на строку команды **Stop** (на экране **>Stop**) и нажать кнопку «OK» на панели контроллера.
- 3). На новой странице меню перевести курсор (>) на строку команды **Yes** (на экране **>Yes**) и нажать кнопку «OK» на панели контроллера.

Для перехода к предыдущему экрану нажмите «ESC».

Полная схема возможных переходов меню приведена в приложении D «LOGO! Руководство».

4.1.3. Переход к «Главному меню» программируемого контроллера

«Главное меню» (см. рис. 4.1.3) соответствует состоянию контроллера STOP и используется для настройки контроллера, ввода и запуска новой программы. Перед выполнением лабораторной работы необходимо перейти к «Главному меню» программируемого контроллера. В зависимости от исходного состояния контроллера (п. 4.1.1.) возможны следующие варианты:

- 1). Контроллера не содержит коммутационной программы. После включения экран контроллера имеет вид рис. 4.1.1.

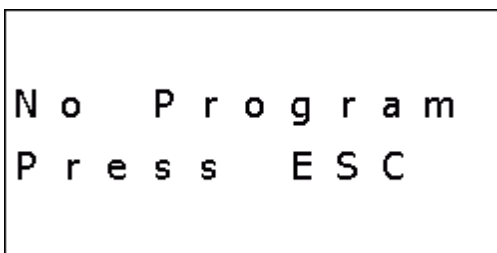
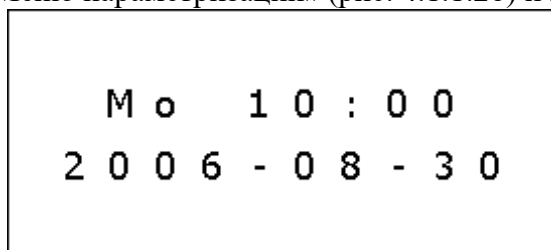


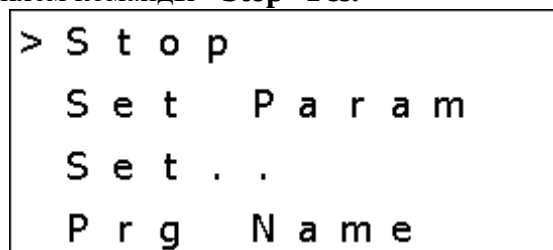
Рис. 4.1.1. Экран контроллера без коммутационной программы.

Для перехода к «Главному меню» (см. рис. 4.1.3) нажмите кнопку «ESC» на панели контроллера.

2). После включения контроллера находится в состоянии RUN (выполняет загруженную ранее программу). В этом случае на экране отображается «Меню запуска», обычно содержащее время и дату (рис. 4.1.2а). Нажатием кнопки «ESC» переходим к «Меню параметризации» (рис. 4.1.1.2б) и выполняем команды >Stop>Yes.



а)



б)

Рис. 4.1.2. Экран контроллера при выполнении программы
(а) - «Меню запуска» и (б) - «Меню параметризации».

3). Программа загружена в контроллер, но ее выполнение остановлено (режим STOP). Программируемый контроллер при включении сразу переходит к «Главному меню» рис. 4.1.3.

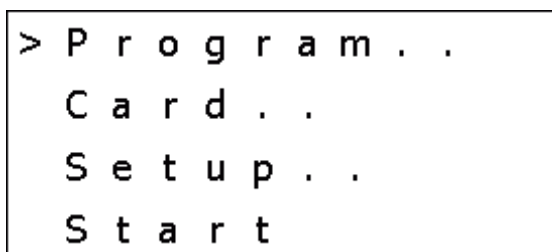


Рис. 4.1.3. Главное меню программируемого контроллера

4.1.4. Предварительные настройки программируемого контроллера

Перед началом работы с контроллером целесообразно отрегулировать контраст встроенного экрана и, при необходимости, скорректировать время и дату. Для этого используется пункт Setup.. «Главного меню».

4.1.5. Загрузка коммутационной программы

Коммутационная программа может быть загружена в контроллер следующими способами:

- 1). Из программного модуля, подключенного к разъему на лицевой панели контроллера.
- 2). Введена вручную с помощью встроенного экрана и кнопок управления программируемого контроллера.
- 3). Загружена из компьютера с помощью специального кабеля и программы LOGO!Soft Comfort.

При загрузке из программного модуля он устанавливается в разъем на лицевой панели контроллера до подключения питания. При включении питания программа из модуля автоматически считывается в память контроллера, замещая находившуюся там ранее программу. При снятии программного модуля программа сохранится в памяти контроллера. При подключении программного модуля к работающему контроллеру загрузка программы (или ее считывание из контроллера в программный модуль) производится через пункт Card.. «Главного меню» (см. рис. 4.1.3). Программный модуль или заглушка извлекаются из гнезда с помощью отвертки шириной 3...4 мм, вставленной в углубление на верхней стороне модуля. Порядок извлечения модуля показан на рисунках в разделе 6.2 «LOGO! Руководство».

Для ввода (или редактирования) программы в ручном режиме необходимо выполнить команды Program.>Edit.>Edit Prg. Перед вводом программы в ручном режиме необходимо нарисовать блок схему программы, т. к. на экране контроллера отображается только 1 функция (блок), а соединение с другим блоком указывается как ссылка на номер этого блока. Поскольку блоки нумеруются автоматически по мере их включения в программу, присвоенные им номера необходимо фиксировать на блок схеме. Подробно порядок ввода и редактирования коммутационной программы и набор встроенных в программируемый контроллер функций (блоков) описан в «LOGO! Руководство» (главы 3 и 4).

Для выхода из режима ввода программы необходимо несколько раз нажать кнопку «ESC» для перехода в «Главное меню». Если введенная программа содержит ошибки, то она не сохраняется, а в памяти контроллера остается записанная ранее программа.

Для удаления программы вводим Program.>Edit.>Clear Prg. В случае утери пароля защищенной программы ее можно удалить четырехкратным повторением команды удаления. В этом случае при каждом повторе на запрос пароля (Password?) достаточно нажать кнопку «ОК».

Для загрузки программы из компьютера необходимо установить программу LOGO!Soft Comfort и соединить разъем на лицевой панели программируемого реле LOGO! с компьютером специальным кабелем. Кабель подсоединяется к выключенному реле. Второй конец кабеля подключается к разъему USB или COM компьютера (в зависимости от типа кабеля в комплекте). После включения LOGO дальнейшее редактирование, тестирование, загрузка и отладка коммутационной программы выполняются с помощью компьютера и программы LOGO!Soft Comfort.

4.1.6. Запуск и отладка коммутационной программы

Для запуска загруженной программы выбираем пункт Start «Главного меню». Контроллер переходит в режим исполнения программы (RUN). В этом случае на экране отображается «Меню запуска», содержащее время и дату (рис. 4.1.2а). Нажимая кнопку управления ► (или ◀), последовательно переходим к другим экранам «Меню запуска», отображающим состояния входов (I), выходов (Q), аналоговых входов (AI), аналоговых выходов (AQ), флагов (M), экрану «Esc+Key» и к исходному экрану «Дата и время». На экранах цифровых входов, выходов и флагов (I, Q и M) состоянию «логическая 1» соответствует инвертированное отображение номера входа/выхода/флага в виде светлой цифры в черном прямоугольнике. Для аналоговых входов и выходов (AI, AQ) отображается нормированное значение сигнала в диапазоне 0...1000. Например, если для аналогового входа AI1 (совмещен с I7) установлен диапазон измерения 0...+10 В, то при напряжении +10,00 В на этом входе на экране AI: будет отображаться «1: 01000».

Экран «Esc+Key» используется для управления коммутационной программой с помощью кнопок ▲, ►, ▼, ◀ на лицевой панели контроллера. Для этого в программу включаются специальная функция «Кнопки курсора» (список «Контакты» (Co)), а в качестве ее параметра указывается одна из кнопок управления курсором. При работающей

программе переходим к экрану «Esc+Key» «Меню запуска» и, при нажатой кнопке «Esc», нажимаем кнопку курсора.

4.2. Программирование контроллера с помощью компьютера

Для программирования «LOGO!» с помощью персонального компьютера предназначена программа «LOGO!SoftComfort». Программа позволяет составить коммутационную программу контроллера в виде диаграммы (схемы) функциональных блоков (FBD – Functional Block Diagram) или в виде релейно-контакторной схемы (LAD – Ladder diagram, лестничной диаграммы). Возможно автоматическое преобразование диаграммы функциональных блоков в релейно-контакторную схему и наоборот. Работоспособность коммутационной программы можно проверить на персональном компьютере в режиме эмуляции, не требующем подключения к программируемому контроллеру.

При подключении программируемого контроллера к порту USB (или COM) компьютера кабелем «LOGO! pc cable», программа «LOGO!SoftComfort» позволяет:

- 1) Загрузить разработанную в «LOGO!SoftComfort» коммутационную программу в контроллер.
- 2) Считать записанную в контроллер коммутационную программу в компьютер.
- 3) Запустить и остановить выполнение коммутационной программы в контроллере из окна «LOGO!SoftComfort».
- 4) Отслеживать работу коммутационной программы контроллера на её функциональной схеме в окне «LOGO!SoftComfort» (отладка в режиме реального времени, «on-line» тест).

4.2.1. Подготовка компьютера к работе с программируемым контроллером

Основные требования к компьютеру: процессор не менее 1 ГГц, память 256 Мб, экран 1024×768 не менее 256 цветов, CD-ROM, Windows XP, Vista. Возможна работа с MacOS и Linux.

Разъем на лицевой панели LOGO должен быть подключен кабелем «LOGO! pc cable» к порту USB (или COM – старая версия кабеля) компьютера.

На компьютере должна быть установлена программа «LOGO!SoftComfort». Для работы с портом USB необходима версия 6 (или старше). При установке программы необходимо подтвердить установку драйвера USB.

4.2.2. Установка «LOGO!SoftComfort»

Порядок установки программы (для Windows) указан в текстовом файле в корневом каталоге компакт диска из комплекта стенда. При установке программы необходимо выбрать русский язык интерфейса. Дальнейшее описание дано для русифицированной программы.

4.2.3. Ввод коммутационной программы в виде диаграммы (схемы) функциональных блоков (FBD)

При первом запуске окно программы «LOGO!Soft Comfort» имеет вид, приведенный на рис. 4.2.1.

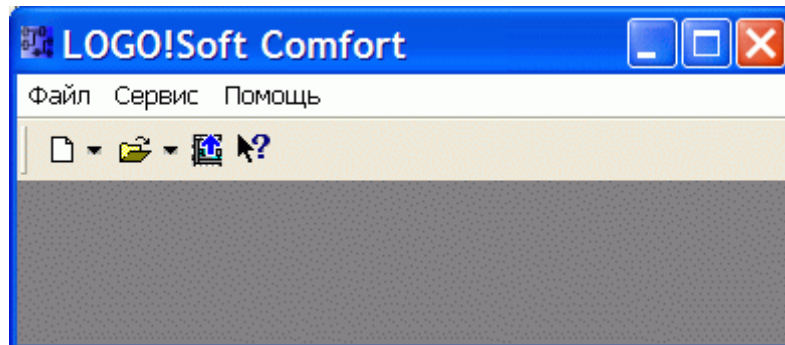


Рис. 4.2.1. Окно программы «LOGO!Soft Comfort»
(нет открытых файлов коммутационных программ).

Создание новой коммутационной программы.

- 1) Выбираем пункт меню Файл/Новый (или кнопку .
- 2) Задаем форму представления коммутационной программы в виде диаграммы (схемы) функциональных блоков (FBD – Functional Block Diagram).
Возможно создание программы в виде релейно-контакторной схемы (LAD – Ladder diagram, лестничной диаграммы) не рассматриваемой в данном руководстве. Программа «LOGO!Soft Comfort» позволяет автоматически преобразовать диаграмму функциональных блоков в релейно-контакторную схему и наоборот.
- 3) В открывшемся окне диалога Свойства, при необходимости, описываем программу.

Открыть файл ранее созданной коммутационной программы.

- 1) Выбираем пункт меню Файл/Открыть (или кнопку .
 - 2) В стандартном окне диалога Windows выбираем и открываем необходимый файл.
Если при выходе из программы «LOGO!Soft Comfort» был открыт файл коммутационной программы, он автоматически загрузится в «LOGO!Soft Comfort» при следующем запуске.
- После создания новой (загрузки) коммутационной программы окно «LOGO!Soft Comfort» принимает вид, показанный на рис. 4.2.2.

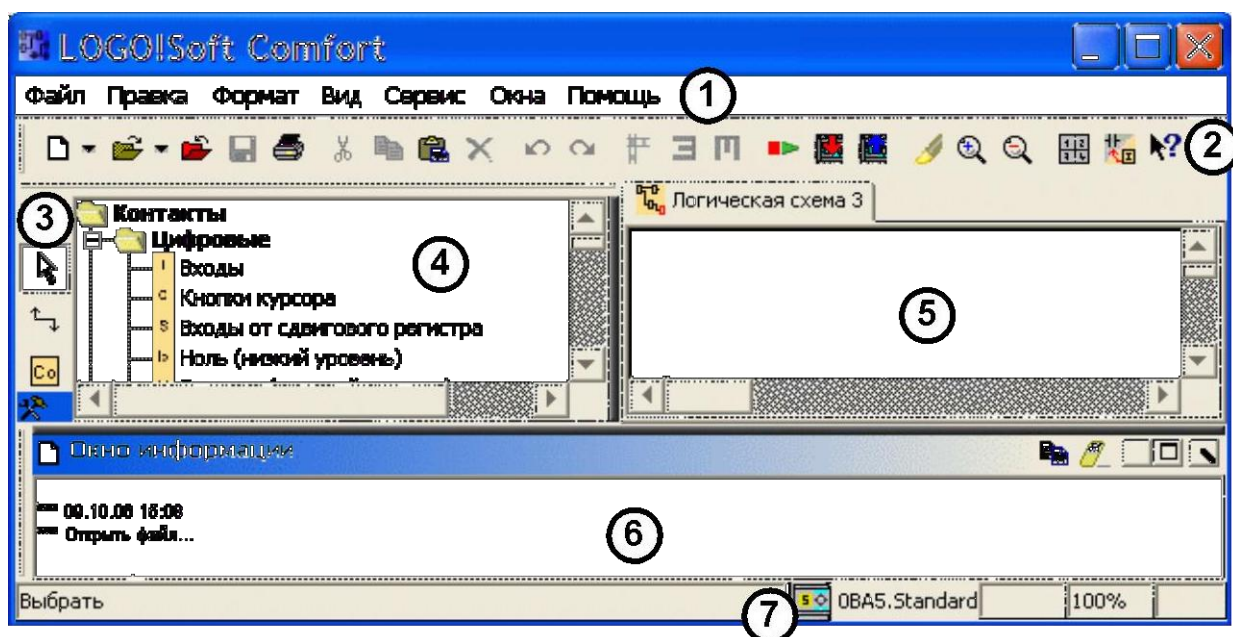


Рис.4.2.2. Окно «LOGO!Soft Comfort».

1 – строка меню; 2 – панель кнопок управления; 3 - панель «Инструменты»; 4 – окно функций (блоков) коммутационной программы; 5 – окно логической схемы коммутационной программы; 6 – окно информации; 7 – выбор типа контроллера (не менять установку по умолчанию - 0BA6).

При наведение курсора на кнопки панелей 2, 3 и элементы списка в окне 4, появляются подсказки, поясняющие их назначение. Подсказки функций в окне 4 имеют кнопку со знаком ?, вызывающую справку для данной функции.

Ввод функций (блоков) коммутационной программы.

- 1) Наводим курсор и щелкаем левой кнопкой мыши на названии блока в окне 4.
 - 2) Переводим курсор в окно логической схемы (5) и вводим необходимое число блоков выбранного типа, щелкая левой кнопкой мыши в местах их примерного положения на диаграмме коммутационной программы.
 - 3) Выбираем следующую функцию (блок) и продолжаем ввод.
 - 4) Завершив ввод, нажимаем кнопку «Выбрать» на панели 3 «Инструменты».
- Вариант ввода функций:
- 1) На панели 3 «Инструменты» нажать кнопку списка, содержащего необходимую функцию. Со – контакты, GF – основные функции, SF – специальные функции. В нижней части окна диаграммы 5 появится панель с кнопками функций из выбранного списка.
 - 2)левой кнопкой мыши нажать кнопку необходимой функции и ввести необходимое число блоков в окне диаграммы 5.
 - 3) Завершить ввод, нажав кнопку «Выбрать» на панели 3 «Инструменты».
- Подробное описание функций коммутационной программы приведено в главе 4 «LOGO! Руководство».

Нумерация блоков.

Функции (блоки) коммутационной программы нумеруются автоматически в последовательности их ввода. При графическом программировании с помощью «LOGO!Soft Comfort» нумерация функций (блоков) не имеет значения и может отличаться от нумерации блоков в приведенных ниже примерах.

Исключение составляют входы и выходы контроллера (блоки I1, I2,...,AI1,AI2, Q1, Q2 и т. д.), согласованные с электрической схемой соединений для каждого эксперимента.

Для изменения подключения блоков на диаграмме к физическим входам (выходам) контроллера дважды щелкаем левой кнопкой мыши на значке блока и, в открывшемся окне диалога, выбираем из списка необходимый физический вход (выход) контроллера. Отсутствие необходимого номера входа (выхода) в списке означает, что он используется другим блоком диаграммы. Для исключения подобных конфликтов целесообразно временно переключить все изменяемые входы и выходы на номера входов (выходов), не используемые в коммутационной программе, например I8, Q5 и т. д. После этого переключить блоки на необходимые номера физических входов и выходов.

Инвертирование входов блоков.

При необходимости любой из входов функции (блока) можно инвертировать двойным щелчком левой кнопки мыши на выводе этого входа. Инвертированный вход отмечается жирной точкой.

Задание параметров функций (блока).

1) Дважды щелкнуть левой кнопки мыши на изображении блока. Откроется окно задания параметров блока.

2) В открывшемся окне ввести параметры блока (время включения, порог срабатывания и другие параметры в зависимости от вида блока). Установленные параметры отобразятся на диаграмме внизу слева от изображения блока. Блоки и их параметры подробно описаны в главе 4 «LOGO! Руководство».

3) При необходимости можно задать имя блока, т. е. набор не более 8 знаков, отображающихся на диаграмме после номера блока.

4) На вкладке «Комментарии» этого окна можно ввести произвольный текст. Текст комментариев отображается на диаграмме коммутационной программы его можно перемещать относительно изображения блока.

Удаление функции (блока).

1) Навести курсор на удаляемый блок, и выделить его щелчком левой кнопки мыши.

2) Щелкнуть правой кнопкой мыши, и, в открывшемся меню, выбрать пункт «Удалить». Вместо меню можно нажать клавишу Delete на клавиатуре.

Перемещение блоков.

Навести курсор на значок блока в окне 5 (см. рис. 4.2.2), нажать левую кнопку мыши, и, не отпуская её, передвинуть блок.

Соединение функций (блоков).

1) Нажать кнопку «Связь» () на панели 3 «Инструменты» (см. рис. 4.2.2).

2) Навести курсор на вывод блока, нажать левую кнопку мыши. Не отпуская её, перевести указатель курсора к выводу другого элемента и отпустить кнопку мыши. На экране появиться линия связи выводов. Линию связи целесообразно проводить от выхода блока к входами других элементов. При нарушении правил соединения появляется сообщение об ошибке и выводы не соединяются. Неиспользуемые входы логических элементов можно не подключать. По умолчанию им присваиваются значения, не влияющие на работу элемента.

Сохранение коммутационной программы.

Выберите пункты меню Файл/Сохранить. При первом сохранении программы появляется стандартный диалог сохранения файлов. Задайте имя файла коммутационной программы в соответствии с правилами наименования файлов Windows.

Вместо меню можно пользоваться кнопкой  панели 2 (см. рис. 4.2.2).

4.2.4. Тестирование коммутационной программы

Программа «LOGO!Soft Comfort» позволяет протестировать коммутационную программу, не загружая ее в контроллер (режим эмуляции).

Если коммутационная программа не открыта в окне «LOGO!Soft Comfort», загрузите её файл (меню – Файл/Открыть).

Для перехода в режим эмуляции выберите или пункт Сервис/Эмуляция в меню 1 (см. рис. 4.2.2), или нажмите кнопку  на панели инструментов 3 (см. рис. 4.2.2), или кнопку F3 на клавиатуре. В нижней части окна диаграммы 5 (см. рис. 4.2.2) появится панель управления эмуляцией рис. 4.2.3

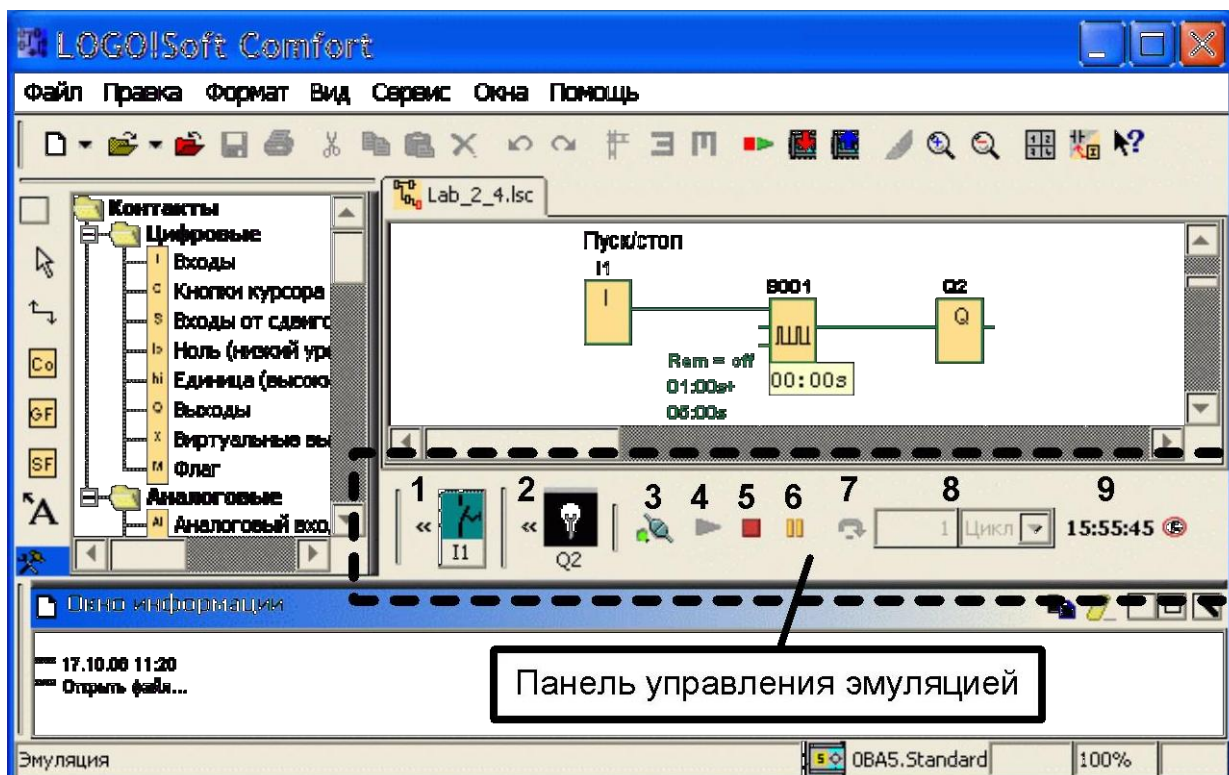


Рис. 4.2.3. Окно «LOGO!Soft Comfort» в режиме эмуляции.

На рис. 1.2.3 цифрами обозначены основные кнопки управления эмуляцией.

1 – кнопки задания состояния входов контроллера (число кнопок определяется числом входов, используемых в коммутационной программе). Для переключения укажите курсором на кнопку и нажмите левую кнопку мыши. Щелчок правой кнопкой мыши открывает меню «Параметры эмуляции». Выбор этого пункта открывает окно режимов работы входа контроллера: выключатель (установлено по умолчанию), импульсный сигнал на замыкание или размыкание, сигнал переменной частоты (Frequency). В последнем случае кнопка заменяется окном задания частоты сигнала. Для аналоговых входов AI1 и AI2 (совмещены, соответственно, с I7 и I8) задается численное значение сигнала в диапазоне 0...1000, что соответствует изменению напряжения на входе контроллера от 0 до +10,00 В.

2 – выходы контроллера (Q1,...,Q4, AQ1, AQ2). Число индикаторов соответствует числу выходов, использованных в программе. Значок цифрового выхода изображает 1 горящей лампой, а 0 - погашенной. Для аналоговых выходов AQ1 и AQ2 отображается численное значение выходного сигнала. Как и для входов, численное значение сигнала в диапазоне 0...1000, соответствует выходному напряжению 0...+10,00 В.

3 – кнопка, имитирующая перерыв в подаче питания контроллера.

4, 5 – кнопки запуска и остановки коммутационной программы.

6 - кнопка паузы (временной приостановки) коммутационной программы. При нажатой кнопке 6 активируется кнопка 7 пошагового выполнения программы. В окне 8 можно задать число циклов (проходов) по программе на каждом шаге или интервал времени, соответствующий шагу.

9 – текущее время. Нажав на кнопку справа от цифр, можно установить любое время и дату, необходимые для тестирования программы.

Для тестирования (эмуляции) запускаем программу кнопкой 4 (рис. 4.2.3), и, задавая входные сигналы кнопками 1 (рис. 4.2.3), наблюдаем работу программы. Соединительные линии между блоками меняют цвет в зависимости от уровня логических сигналов: 1 – красный, 0 – черный. Рядом с блоками отображается текущее значение их параметров (например, 00:00 с для блока B001 на рис. 4.2.3). Кнопка 6 (рис. 4.2.3) позволяет временно приостановить работу программы с сохранением значений всех сигналов и, при необходимости, проследить работу программы в пошаговом режиме (кнопка 7, рис. 4.2.3). Для остановки эмуляции нажимаем кнопку 5 (рис. 4.2.3).

Для выхода из режима эмуляции выберите пункт Сервис/Эмуляция в меню (1 на рис. 4.2.2), или нажмите кнопку F3 на клавиатуре, или любую кнопку на панели инструментов (3 на рис. 4.2.2).

4.2.5. Загрузка и считывание программы из контроллера

Убедитесь, что реле и компьютер отключены от сети электропитания.

Подключите кабель «LOGO! pc cable» к разъему порта USB (в старой версии кабеля - COM) компьютера и к разъему на лицевой панели реле. Разъем расположен слева от экрана реле над кнопками курсора и при поставке закрыт заглушкой, которую необходимо удалить. Заглушку (и программный модуль) вытаскиваем вперед с помощью отвертки, вставленной в углубление в верхней части заглушки (см. рисунок в разделе 6.2 «LOGO! Руководство»).

Включите компьютер.

Включите устройство защитного отключения и автоматический выключатель в однофазном источнике питания.

Включите выключатель «СЕТЬ» блока программируемого реле.

Запустите программу «LOGO!Soft Comfort». Для настройки соединения реле с компьютером последовательно выберите в меню программы «LOGO!Soft Comfort» пункты Сервис/Опции/Интерфейс. Определение номера порта, к которому подключено реле, обычно происходит автоматически и этот номер отображается в окне (т. е. COM1, COM2 и т. д.). Драйвер USB порта создает дополнительный COM порт сверх установленных в компьютере физических портов COM. Обычно это последний по номеру порт (COM2, COM3 и т. п.). Именно этот порт должна использовать программа «LOGO!Soft Comfort». Для продолжения работы закройте окно Опции.

Загрузка коммутационной программы в контроллер.

Выберите пункт меню «LOGO!Soft Comfort» Сервис/Передать/ PC -> LOGO! или нажмите кнопку  на панели программы (2 на рис. 4.2.2).

Если перед загрузкой контроллер выполнял коммутационную программу (режим RUN), то «LOGO!Soft Comfort» откроет окно диалога, с требованием подтвердить переход контроллера в режим STOP (коммутационная программа остановлена).

После перехода контроллера в режим STOP, в него будет загружена новая коммутационная программа.

Считывание коммутационной программы из контроллера.

Выберите пункт меню «LOGO!Soft Comfort» Сервис/Передать/LOGO! -> PC или нажмите кнопку  на панели программы (2 на рис. 4.2.2).

Коммутационная программа считывается из контроллера, и её диаграмма открывается на новой вкладке окна диаграмм (5 на рис. 4.2.2).

4.2.6. Управление коммутационной программой

При соединении контроллера и компьютера кабелем (см. 4.2.5), кнопка  на панели 2 «LOGO!Soft Comfort» (рис. 4.2.2), запускает и останавливает коммутационную программу в контроллере. После нажатия кнопки программа требует подтвердить или отменить операцию.

4.2.7. Отладка исполняемой в контроллере коммутационной программы

Программа «LOGO!Soft Comfort» позволяет наблюдать работу коммутационной программы контроллера в реальном времени.

Для отладки необходимо:

- 1) Соединить контроллер и компьютер кабелем (см. 4.2.5).
- 2) В окне 5 (см. рис. 4.2.2) «LOGO!Soft Comfort» открыть диаграмму коммутационной программы и загрузить её в контроллер.
- 3) Перевести «LOGO!Soft Comfort» в режим «Online-тест». Для этого нажать кнопку  на панели инструментов (3 на рис. 4.2.2), или выбрать пункт меню (1 на рис. 4.2.2) Сервис/ Online-тест.

В нижней части окна диаграмм «LOGO!Soft Comfort» (5 на рис.4.2.2) появится панель управления отладкой в режиме «Online-тест» рис. 4.2.4.

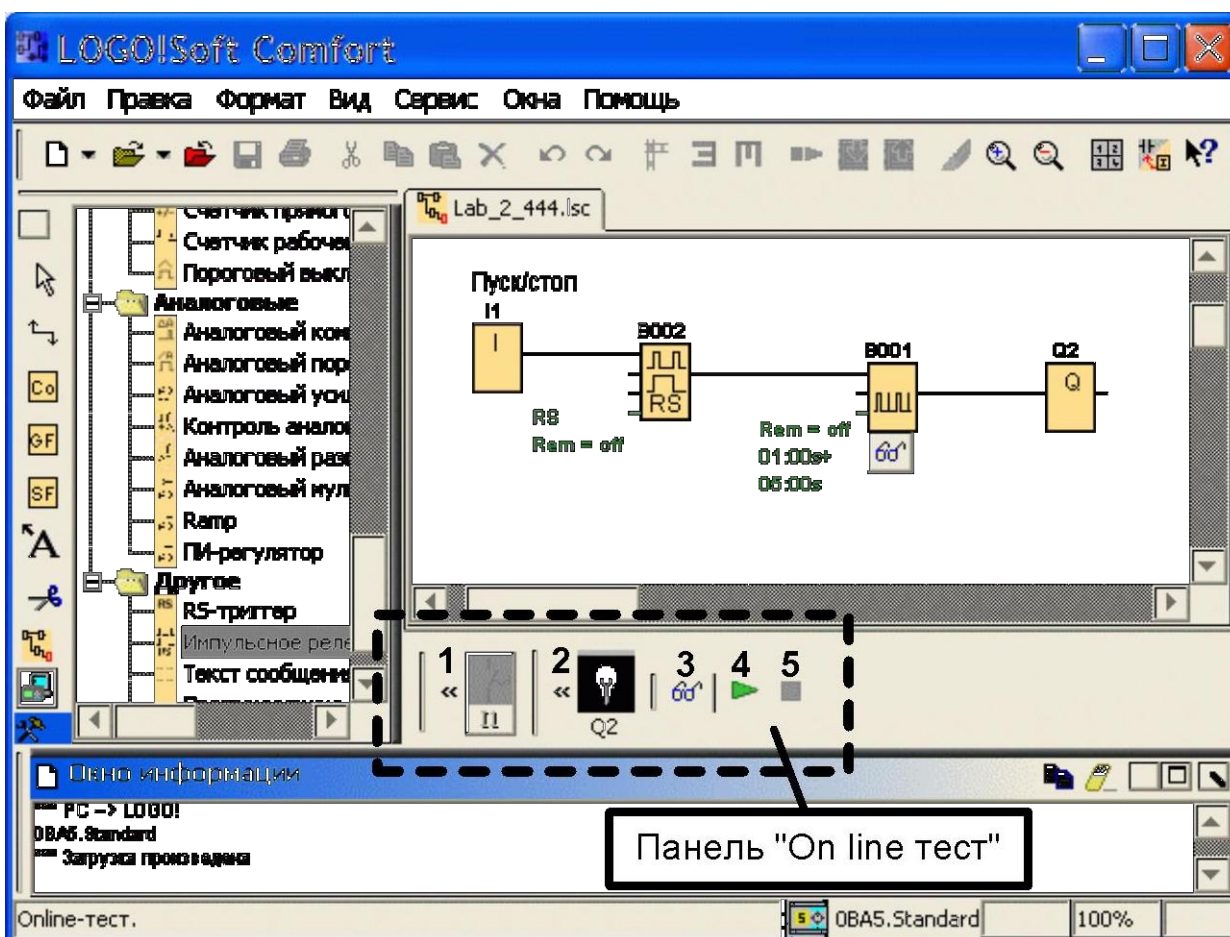


Рис. 4.2.4. Окно «LOGO!Soft Comfort» в режиме «Online-тест».

На рис. 4.2.4 цифрами обозначены кнопки управления режимом отладки коммутационной программы.

1 – кнопки индикации состояния входов контроллера (число кнопок определяется числом входов, используемых в коммутационной программе). Состоянию 1 соответствует изображение «нажатой» кнопки. В случае частотного или аналогового входа отображается численное значение параметра. Для аналоговых входов численное значение сигнала в диапазоне 0...1000 соответствует изменению напряжения на входе контроллера от 0 до +10,00 В.

2 – выходы контроллера (Q1,...,Q4, AQ1, AQ2). Число индикаторов соответствует числу выходов, использованных в программе. Значок цифрового выхода изображает 1 горящей лампой, а 0 – погашенной. Для аналоговых выходов (AQ1, AQ2) отображается численное значение в диапазоне 0...1000 (выходное напряжение 0...+10,00 В).

3 – кнопка, включения/выключения режима монитора, т. е. отображения на диаграмме коммутационной программы состояния сигналов в реальном времени. Кнопка работает только в режиме RUN.

4, 5 – кнопки запуска и остановки коммутационной программы.

Для отладки запускаем программу кнопкой 4 (рис. 4.2.4). Для наблюдения за работой программы нажимаем кнопку монитора 3 на панели «On line тест» (рис. 4.2.4). На диаграмме коммутационной программы отображается состояние всех входов и выходов блоков (0 – соединительная линия черная, 1 – красная). При наведении курсора на блоки имеющие параметры, около значка блока появляется кнопка включения монитора (рис. 1.2.5 а). Нажатие кнопки открывает окно отображения текущего значения параметра блока

(рис. 4.2.5 б). Окно параметра закрывается кнопкой в его правой части (см. рис. 4.2.5 б). В режиме отладки команды могут выполняться с задержкой в 1...2 с.



Рис. 4.2.5. Отображение текущего значения параметра блока.

(а) – кнопка включения монитора, (б) – окно отображения текущего значения параметра.

Выход из режима отладки.

1) Останавливаем программу кнопкой 5 на панели «On line тест» (рис. 4.2.4).

2) Нажимаем кнопку  (или любую другую кнопку) на панели инструментов 3 на рис. 4.2.2. Вместо кнопок можно выбрать пункт меню (1 на рис. 4.2.2) Сервис/ Online-тест.

4.3. Тестирование основных логических функций

- Схема электрическая соединений и ее описание
- Коммутационная программа и ее описание
- Перечень аппаратуры
- Указания по проведению эксперимента

Схема электрическая соединений и ее описание

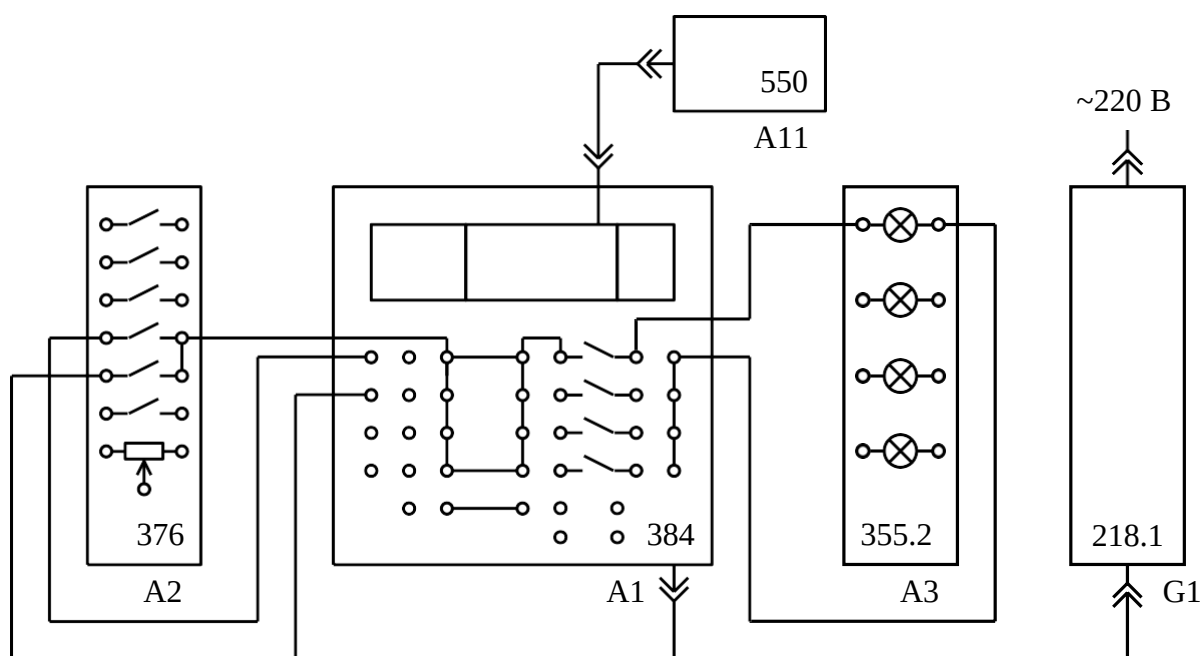


Рис. 4.3.1. Схема электрическая соединений для тестирования основных логических функций.

Однофазный источник питания G1 предназначен для безопасного питания блока программируемого контроллера A1.

Компьютер A11 подключен кабелем к разъему на лицевой панели контроллера и предназначен для загрузки и отладки коммутационной программы.

Кнопки с фиксацией поста управления A2 предназначены для подачи на входы I1 и I2 контроллера A1 напряжения +24 В, соответствующего логической «1» (контакт кнопки замкнут), или снятия этого напряжения, что соответствует логическому «0» (контакт кнопки разомкнут).

Лампа в блоке A3 предназначена для сигнализации состояния выходного контакта Q1 контроллера A1. Светящаяся лампа соответствует логической «1» (контакт Q1 контроллера замкнут). Отсутствие свечения лампы соответствует логическому «0» (контакт Q1 контроллера разомкнут).

Коммутационная программа и ее описание

На рисунке приведен пример коммутационной программы для тестирования функции «Логическое И» (блок B001 - &, AND).

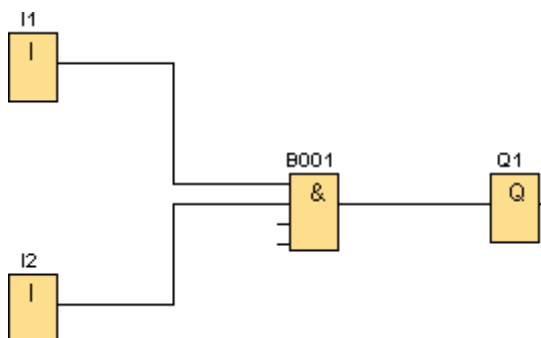


Рис. 4.3.2. Коммутационная программа для тестирования функции «Логическое И».

Коммутационная программа обеспечивает передачу сигналов с входов I1 и I2 контроллера на входы тестируемой функции (блок B001) коммутационной программы, а результат вычисления функции (выход блока) – на выход Q1 контроллера. Программу достаточно ввести один раз, и, в дальнейшем, заменять блок B001 на другие блоки из группы GF (основные функции). Не подключенные входы блока B001 автоматически принимают значения, не влияющие на выполнение заданной функции блока. Подключать их или задавать им начальные значения нет необходимости.

В окне программы «LOGO! SoftComfort» наберите блок схему коммутационной программы и загрузите ее в контроллер (см. раздел 4.2).

Функция любого блока коммутационной программы может быть модифицирована инвертированием одного или нескольких логических входов этого элемента. Для этого переведите курсор на границу рамки блока в точке подключения инвертируемого входа и дважды щелкните левой кнопкой мыши. Инверсия изображается точкой на линии входа у рамки блока. Двойной щелчок на инвертированном входе удаляет инверсию.

После изменения диаграммы коммутационной программы её необходимо вновь загрузить в контроллер.

При вводе программы можно использовать и другие входы и выходы контроллера, изменив, соответственно, электрическую схему соединений.

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Однофазный источник питания	218.1	~ 220 В / 16 А
A1	Блок программируемого контроллера	384	6 цифровых входов / 2 цифровых (аналоговых) входа / 4 релейных выхода
A2	Пост управления	376	3 кнопки без фиксации / 3 кнопки с фиксацией / потенциометр
A3	Блок световой сигнализации	355.2	4 светодиодных лампы 24 В
A11	Компьютер	550	С программой «LOGO!SoftComfort»

Указания по проведению эксперимента

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений рис.4.3.1.
- Включите компьютер.
- Включите устройство защитного отключения и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока программируемого контроллера A1.
- Переведите контроллер в режим отображения «Главного меню» (состояние STOP, см. п. 4.1.3.).
- Запустите программу «LOGO! Soft Comfort» и создайте коммутационную программу.
- Загрузите в контроллер коммутационную программу и запустите ее на исполнение. (см. выше описание работы с коммутационной программой и разделы 3.7 и 4 «LOGO! Руководство»)
- Протестируйте работу схемы под управлением контроллера. При необходимости, скорректируйте схему и коммутационную программу. За состоянием входов удобно следить на экране состояния входов (I) (переход из «Меню запуска» нажатием кнопки ►, см. п. 4.1.6).
- Составьте таблицу истинности для каждого исследованного элемента.

Вход I1	Вход I2	Выход Q1
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

- Составьте таблицу истинности одного из элементов при инвертировании одного или нескольких из его входов.
- По завершении работы остановите коммутационную программу, отключите выключатель «СЕТЬ» блока программируемого контроллера A1 и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.

4.4. Тестирование специальных логических функций

- Схемы электрические соединений и их описание
- Коммутационная программа и ее описание
- Перечень аппаратуры
- Указания по проведению эксперимента

Схемы электрические соединений и их описание

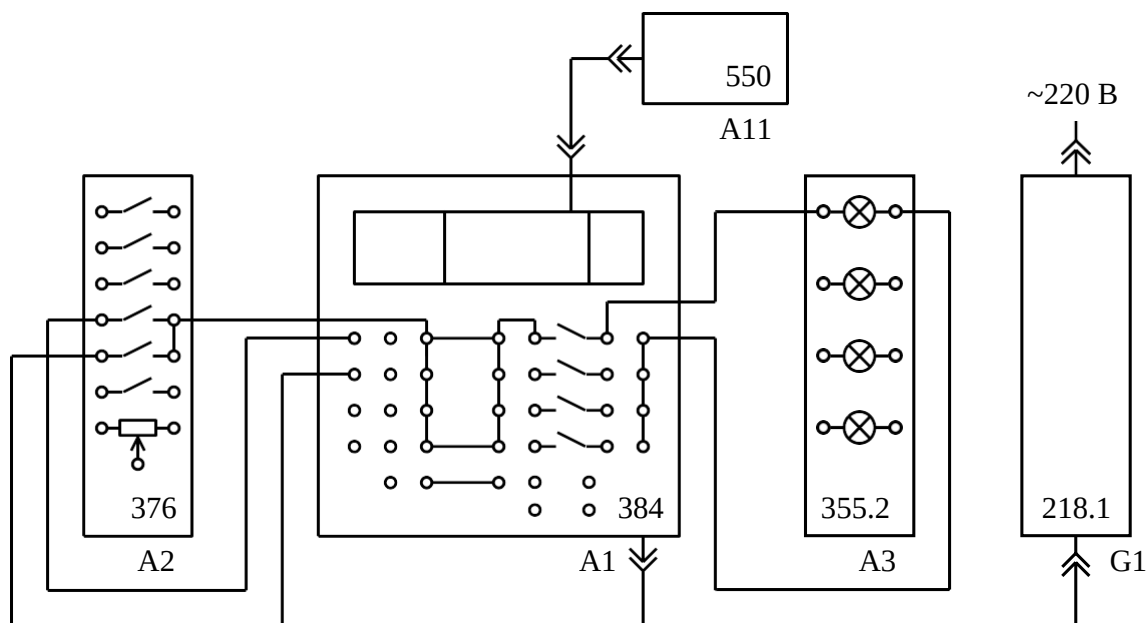


Рис. 4.4.1. Схема подключения логических сигналов к входам (I1 и I2) контроллера.

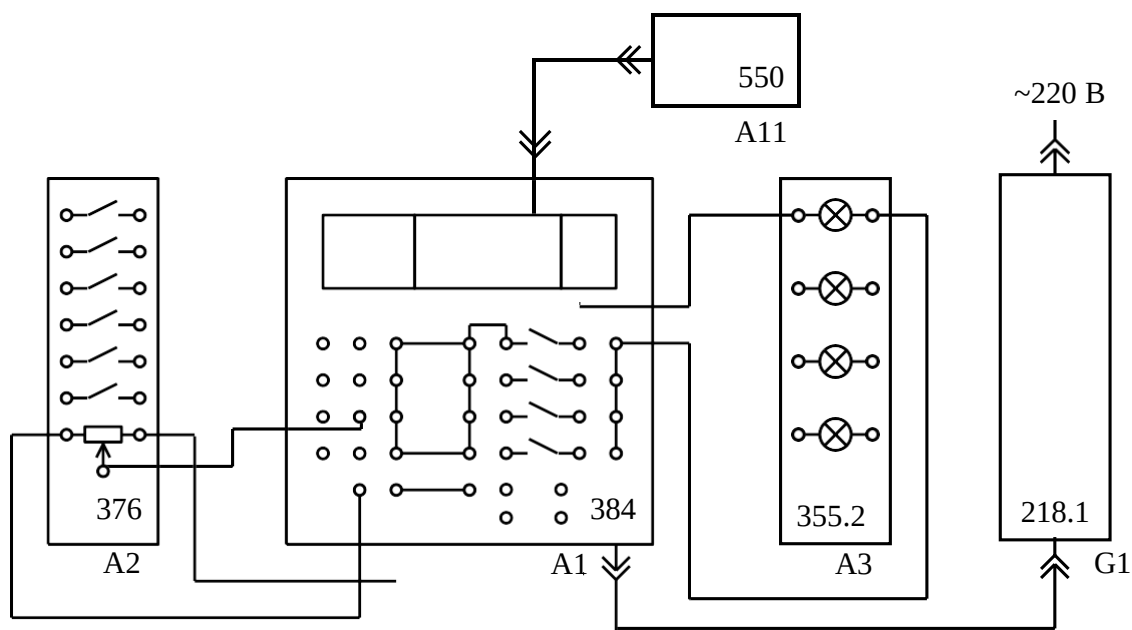


Рис. 4.4.2. Схема подключения аналогового сигнала (0...+10 В) к входу (I7=AI1) контроллера.

Однофазный источник питания G1 предназначен для безопасного питания блока программируемого контроллера A1.

Компьютер A11 подключен кабелем к разъему на лицевой панели контроллера и предназначен для загрузки и отладки коммутационной программы.

Схема подключения логических сигналов (рис. 4.4.1) не отличается от схемы для тестирования основных логических функций (рис. 4.3.1). При необходимости число подключенных логических входов можно увеличить или уменьшить.

Переменный резистор в poste управления A2 используется как делитель напряжения для формирования регулируемого аналогового сигнала $0...+10$ В.

Коммутационные программы и их описание

Коммутационная программа для тестирования функций, имеющих только логические входы, приведена на рис. 4.4.3. Коммутационные программы для тестирования других функций отличаются только числом подключенных входов (1, 2, 3 и т. д.).

Коммутационная программа для тестирования функций с аналоговым входом приведена на рис. 4.4.4.

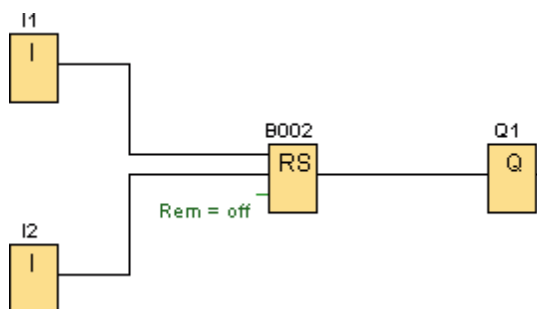


Рис. 4.4.3. Коммутационная программа для тестирования RS триггера (реле с защелкой).

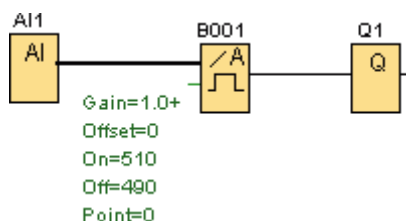


Рис. 4.4.4. Коммутационная программа для тестирования «Аналогового порогового выключателя».

При вводе коммутационной программы (рис. 4.4.4) необходимо задать параметры – пороги включения (On) и выключения (Off). Поскольку любой аналоговый сигнал масштабируется в коммутационной программе в диапазон $0...1000$, то приведенным на рисунке значениям параметров (On=510 и Off=490), соответствуют пороги включения 5,10 В и выключения 4,90 В. Для изменения параметров дважды щелкните левой кнопкой мыши на значке блока. В открывшемся окне задайте параметры функции (блока): On=510 и Off=490. Для остальных параметров сохраните принятые по умолчанию значения. Закройте окно ввода параметров.

Порядок ввода коммутационных программ описан в параграфе 4.2. Функции (блоки) программ выбирают из списка «Специальные функции» (SF).

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Однофазный источник питания	218.1	~ 220 В / 16 А
A1	Блок программируемого контроллера	384	6 цифровых входов / 2 цифровых (аналоговых) входа / 4 релейных выхода
A2	Пост управления	376	3 кнопки без фиксации / 3 кнопки с фиксацией / потенциометр
A3	Блок световой сигнализации	355.2	4 светодиодных лампы 24 В
A11	Компьютер	550	С программой «LOGO!SoftComfort»

Указания по проведению эксперимента

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 4.4.1 или 4.4.2.
- Включите компьютер.
- Включите устройство защитного отключения и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока программируемого контроллера A1.
- Переведите контроллер в режим отображения «Главного меню» (состояние STOP, см. п. 4.1.3.).
- Запустите программу «LOGO! Soft Comfort» и создайте коммутационную программу. Обратите внимание, на необходимость задания параметров некоторых блоков.
- Загрузите в контроллер коммутационную программу, приведенную на рис. 4.4.3 (или рис. 4.4.4). Запустите программу на исполнение.
- Протестируйте работу схемы под управлением контроллера. При необходимости, скорректируйте схему и коммутационную программу. За состоянием входов удобно следить на экране состояния входов (I – цифровые, AI - аналоговые) (переход из «Меню запуска» нажатием кнопки ►, см. п. 4.1.6).
- По завершении эксперимента остановите коммутационную программу, отключите выключатель «СЕТЬ» блока программируемого контроллера A1 и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.

4.5. Тестирование логической функции для управления объектом

- Алгоритм работы объекта
- Схема электрическая соединений и ее описание
- Коммутационная программа и ее описание
- Перечень аппаратуры
- Указания по проведению эксперимента

Алгоритм работы объекта

- 1) Включение и выключение сигнальной лампы производится кнопкой без фиксации. Одно нажатие на кнопку включает лампу, другое – выключает.
- 2) Изменение состояния лампы происходит после нажатия кнопки без фиксации с временной задержкой длительностью 3 с.
- 3) На интервале временной задержки при нажатой кнопке с фиксацией на экран контроллера выводится время, оставшееся до переключения лампы.

Схема электрическая соединений и ее описание

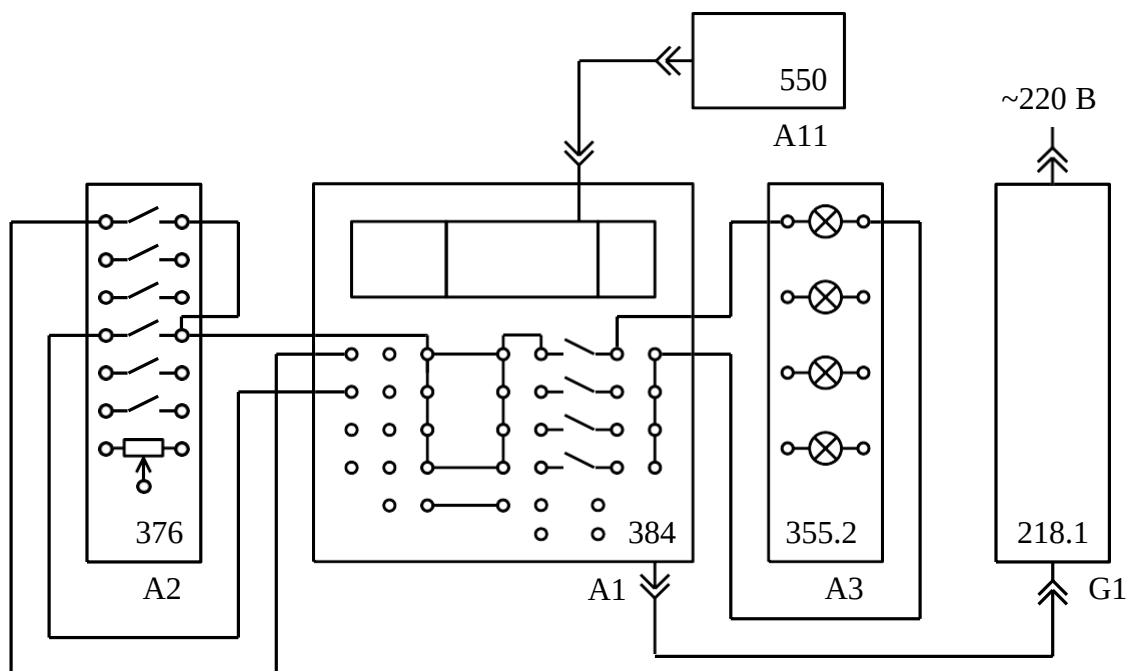


Рис. 4.5.1. Схема электрических соединений.

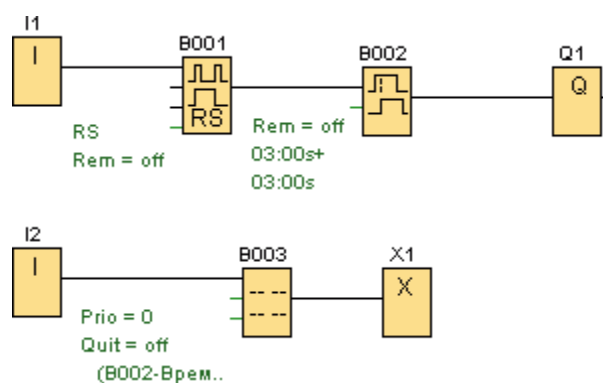
Однофазный источник питания G1 предназначен для безопасного питания блока программируемого контроллера A1.

Компьютер А11 подключен кабелем к разъему на лицевой панели контроллера и предназначен для загрузки и отладки коммутационной программы.

Кнопки поста управления А2 предназначены для подачи на входы I1 и I2 контроллера блока А1 напряжения +24 В, соответствующего логической «1» (контакт кнопки замкнут), или снятия этого напряжения, что соответствует логическому «0» (контакт кнопки разомкнут).

Лампа в блоке А3 предназначена для сигнализации состояния выходного контакта Q1 контроллера блока А1. Светящаяся лампа соответствует логической «1» (контакт Q1 контроллера замкнут). Отсутствие свечения лампы соответствует логическому «0» (контакт Q1 контроллера разомкнут).

Коммутационная программа и ее описание



Первая цепочка элементов коммутационной программы (I1 – B001 – B002 – Q1) управляет переключением лампы. Логический сигнал с входа I1 управляет состоянием «Импульсного реле» B001 (список SF, прочие функции). Выход «Импульсного реле» B001 изменяет свое состояние (0↔1) при каждом переходе сигнала на входе I1 из 0 в 1 (т. е. при нажатии кнопки без фиксации). Переключение выхода «Импульсного реле» B001 запускает «Задержку вкл./выкл.» B002 (список SF, таймеры). В качестве параметров «Импульсного реле» B001 задано одинаковое время задержки включения и отключения – 3 с (03:00s). После отработки заданной задержки изменяется состояние контактов выхода контроллера Q1, и, соответственно, включение или выключение лампы.

Вторая цепочка элементов коммутационной программы (I2 – B003 – X1) управляет выводом на экран программируемого контроллера времени, оставшегося до окончания задержки. При подаче сигнала от кнопки с фиксацией на вход I2 запускается функция «Текст сообщения» (список SF, прочие функции). В качестве параметра этой функции указан номер блока B002 («Задержка вкл./выкл.»). При этом оставшееся до окончания задержки время передается из блока B002 в B003 и отображается на экране контроллера. Поскольку выход любого блока программы не может остаться неподключенным, выход B003 подключен к X1 – «Виртуальному выходу» (список Co). Данные с X1 никуда не передаются. Этот блок необходим только как начальный блок новой цепочки функций (блоков) при ручном вводе коммутационной программы.

Ввод коммутационной программы начинаем с цепочки Q1 – B002 – B001 – I1. Нумерация блоков вашей диаграммы может отличаться от показанной на рисунке. Для блока B002 задаются параметры задержки включения и отключения 3 с. Открываем окно задания параметров двойным щелчком на значке блока и вводим параметры On=03:00, Off=03:00.

Вводим вторую цепочку функций (X1 – B003 – I2). В качестве параметра блока B003 необходимо указать блок B002 (или иной номер этого блока на вашей диаграмме).

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Однофазный источник питания	218.1	~ 220 В / 16 А
A1	Блок программируемого контроллера	384	6 цифровых входов / 2 цифровых (аналоговых) входа / 4 релейных выхода
A2	Пост управления	376	3 кнопки без фиксации / 3 кнопки с фиксацией / потенциометр
A3	Блок световой сигнализации	355.2	4 светодиодных лампы 24 В
A11	Компьютер	550	С программой «LOGO!SoftComfort»

Указания по проведению эксперимента

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений.
- Включите компьютер.
- Включите устройство защитного отключения и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока программируемого контроллера A1.
- Переведите контроллер в режим отображения «Главного меню» (состояние STOP, см. п. 4.1.3.).
- Запустите программу «LOGO! Soft Comfort» и создайте коммутационную программу. Обратите внимание на необходимость задания параметров блоков B002 и B003.
- Загрузите в контроллер коммутационную программу. Запустите программу на исполнение.
- Протестируйте работу схемы под управлением контроллера. При необходимости, скорректируйте схему и коммутационную программу. За состоянием входов удобно следить на экране состояния входов (I – цифровые, AI - аналоговые) (переход из «Меню запуска» нажатием кнопки ►, см. п. 4.1.6).
- По завершении эксперимента остановите коммутационную программу, отключите выключатель «СЕТЬ» блока программируемого контроллера A1 и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1. Обратите внимание, что перейти к «Главному меню» на экране контроллера можно только при отключенном выводе на экран времени задержки (I2=0, т. е. кнопка этого входа отключена).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5 (4 часа)

Автоматические системы управления на основе программируемого контроллера

Цель экспериментов – создание и тестирование натурных моделей автоматических систем управления технологическими процессами.

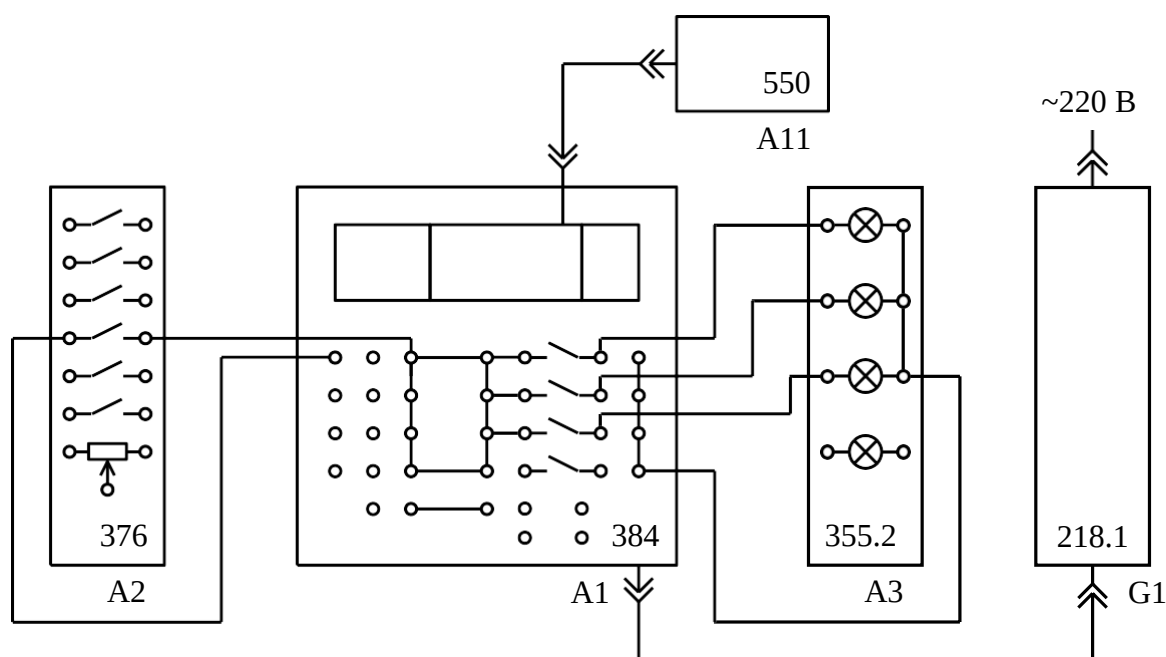
5.1. Автоматическая система управления светофором

- Алгоритм работы системы управления
- Схема электрическая соединений и ее описание
- Коммутационная программа и ее описание
- Перечень аппаратуры
- Указания по проведению эксперимента

Алгоритм работы системы управления

- 1) Система включается и отключается кнопкой с фиксацией.
- 2) Длительности включенного состояния сигналов светофора составляют: красный – 15 с, желтый – 5 с, зеленый – 15 с.

Схема электрическая соединений и ее описание



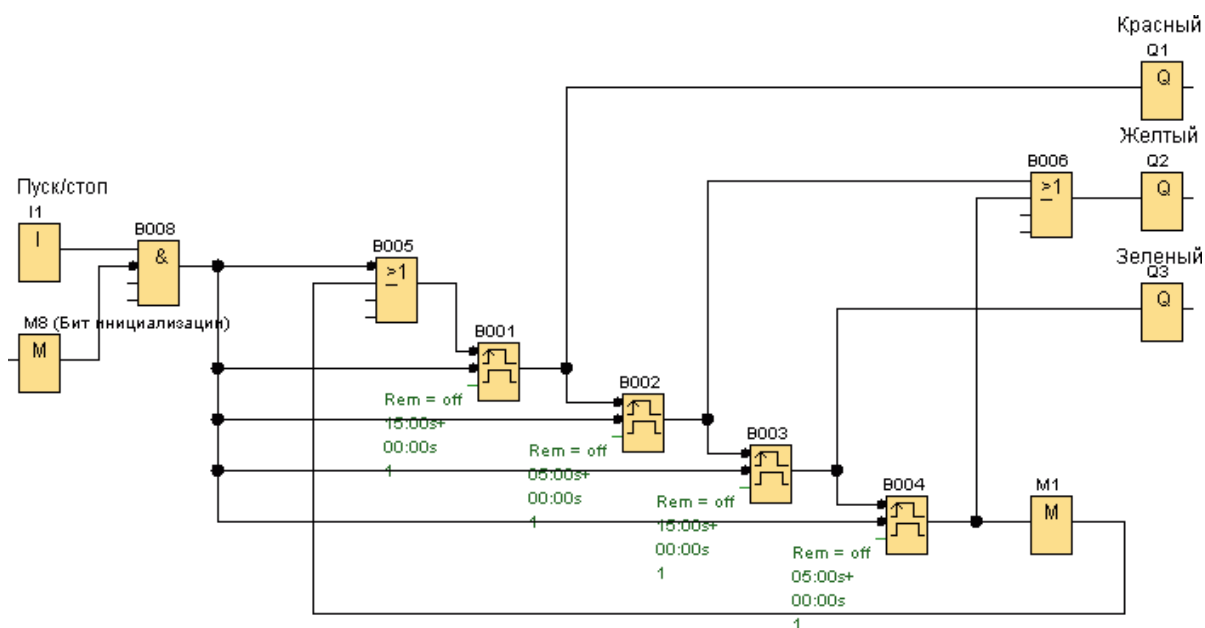
Однофазный источник питания G1 предназначен для безопасного питания блока программируемого контроллера A1.

Компьютер A11 подключен кабелем к разъему на лицевой панели контроллера и предназначен для загрузки и отладки коммутационной программы.

Кнопка с фиксацией поста управления A2 предназначена для включения (отключения) системы.

Лампы в блоке A3 имитируют сигналы светофора.

Коммутационная программа и ее описание



В коммутационной программе использованы функции, приведенные в таблице.

	I1 – вход (список Co). Управляет включением/выключением светофора (0 – выключен, 1 – включен).
	M1, M8 – флаги (список Co), т. е. переменные программы. M8 (бит инициализации) – особый флаг, принимающий значение 1 при первом цикле выполнения программы.
	B008 – функция И (список GF).
	B005, B006 – функция ИЛИ (список GF).
	B001...B004 – интервальное реле времени, запускаемое фронтом (список SF). Верхний вход – запуск реле (выход реле устанавливается в 1), второй сверху вход – сброс (выход – 0).
	Q1, Q2, Q3 – выходы программируемого контроллера (список Co). Управляют, соответственно, красной, желтой и зеленой лампами.

Точка около входа функции обозначает инверсию (логическая операция НЕ) данного сигнала.

Работа программы:

1) При первом цикле выполнения программы, независимо от состояния входа I1, устанавливается в 1 флаг инициализации (M8) и сбрасывает все интервальные реле (B001...B004). Выходы интервальных реле и выходы Q1, Q2, Q3 устанавливаются в 0. Лампы светофора погашены.

2) Если на входе I1 установлен 0 (светофор выключен) выходы интервальных реле и выходы Q1, Q2, Q3 сохраняются в состоянии 0.

3) При включении светофора (1 на входе I1) запускается интервальное реле времени B001, и контакты выхода Q1 включают красную лампу светофора. По истечении 15 с на выходе B001 устанавливается 0 и запускается интервальное реле B002, включающее желтый сигнал на 5 с. После отключения B002, запускается B003 (зеленый, 15 с). Отключение B003 запускает B004 (снова желтый, 5 с), а отключение B004 запускает B001. Далее циклы повторяются, пока на входе I1 сохраняется сигнал 1. Установка 0 на I1 отключает светофор.

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Однофазный источник питания	218.1	~ 220 В / 16 А
A1	Блок программируемого контроллера	384	6 цифровых входов / 2 цифровых (аналоговых) входа / 4 релейных выхода
A2	Пост управления	376	3 кнопки без фиксации / 3 кнопки с фиксацией / потенциометр
A3	Блок световой сигнализации	355.2	4 светодиодных лампы 24 В
A11	Компьютер	550	С программой «LOGO!SoftComfort»

Указания по проведению эксперимента

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений.
- Включите компьютер.
- Включите устройство защитного отключения и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока программируемого контроллера A1.
- Переведите контроллер в режим отображения «Главного меню» (состояние STOP, см. п. 4.1.3.).
- Запустите программу «LOGO! Soft Comfort» и создайте коммутационную программу. Задайте параметры задержки интервальных реле времени B001 (15:00), B002 (05:00), B003 (15:00), B004 (05:00). При вводе коммутационной программы номера блоков могут отличаться от указанных на приведенной выше диаграмме.
- Загрузите в контроллер коммутационную программу. Запустите программу на исполнение.
- 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.
 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. 4.1.6).
- По завершении эксперимента остановите коммутационную программу, отключите выключатель «СЕТЬ» блока программируемого контроллера A1 и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.

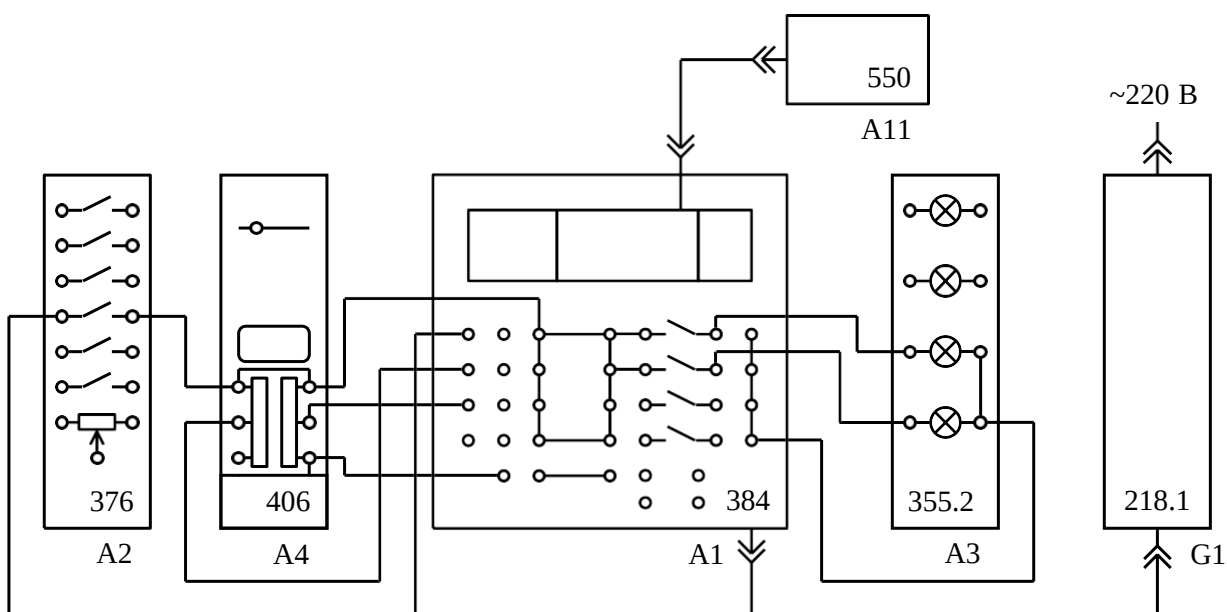
5.2. Автоматическая система управления внутренним освещением

- Алгоритм работы системы управления
- Схема электрическая соединений и ее описание
- Коммутационная программа и ее описание
- Перечень аппаратуры
- Указания по проведению эксперимента

Алгоритм работы системы управления

- 1) Включение (отключение) системы осуществляется кнопкой с фиксацией.
- 2) При пересечении объектом луча оптического выключателя включается освещение зоны. При пересечении объектом луча следующего оптического выключателя освещение зоны прекращается и включается освещение следующей зоны.

Схема электрическая соединений и ее описание



Однофазный источник питания G1 предназначен для безопасного питания блока программируемого контроллера A1.

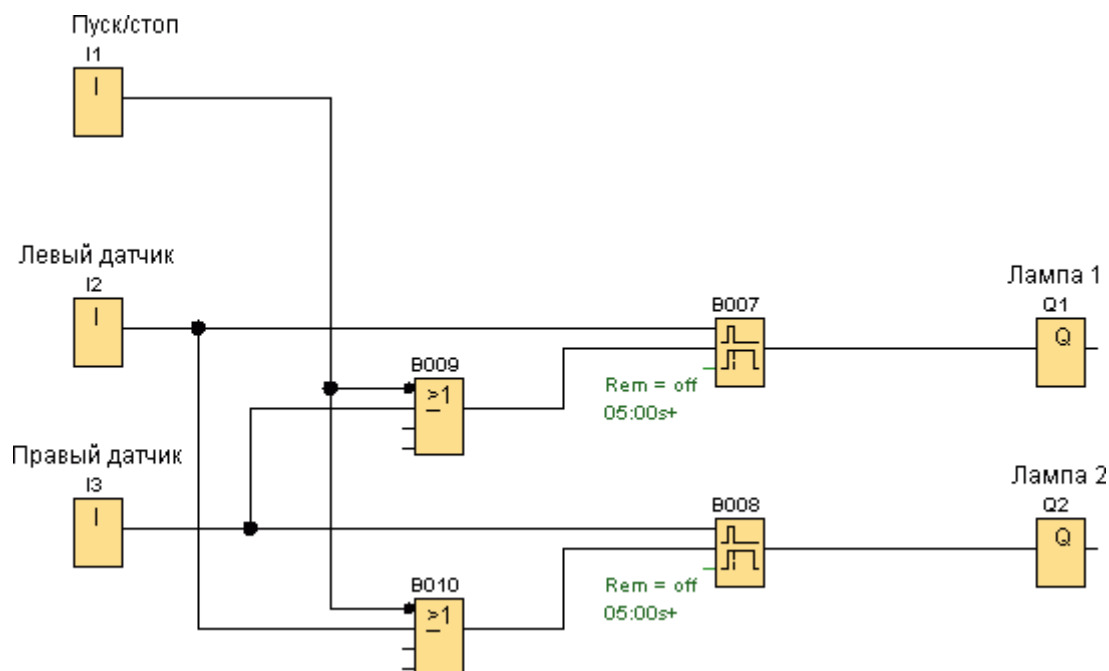
Компьютер A11 подключен кабелем к разъему на лицевой панели контроллера и предназначен для загрузки и отладки коммутационной программы.

Кнопка с фиксацией поста управления A2 предназначена для включения (отключения) системы.

Блок оптических выключателей A4 имитирует освещаемое помещение с перемещающимся объектом (человеком).

Лампы в блоке A3 имитируют лампы освещения.

Коммутационная программа и ее описание



В коммутационной программе использованы функции, приведенные в таблице.

	I1 – вход (список Co). Управляет включением/выключением системы (0 – выключен, 1 – включен). I2, I3 – входы сигналов датчиков 1 (левый датчик блока A4) и 2 (правый датчик A4). Сигнал равен 1 при срабатывании датчика.
	B009, B010 – функция ИЛИ (список GF).
	B007, B008 – задержка выключения (список SF). Верхний вход – запуск реле (выход реле устанавливается в 1 и остается в этом состоянии после перехода входного импульса из 1 в 0 на время установленной задержки 5 с), второй сверху вход – сброс (выход немедленно устанавливается в 0).
	Q1, Q2 – выходы программируемого контроллера (список Co). Управляют, соответственно, лампами освещения зон 1 и 2 датчиков.

Точка около входа функции обозначает инверсию (логическая операция НЕ) данного сигнала.

Работа программы:

1) При отключенной системе (сигнал на входе I1 равен 0) через инвертирующие входы функция ИЛИ (B009, B010) на входы сброса функций задержки выключения (B007, B008) подается 1. Выходы функций задержки выключения и выходы контроллера находятся в состоянии 0 (отключены).

2) При включении системы (1 на входе I1) снимается сигнал с входов сброса функций задержки выключения (B007, B008).

3) При отсутствии сигналов оптических выключателей (0 на входах I2, I3) выходы функций задержки выключения и выходы контроллера отключены.

4) При появлении сигнала одного из оптических выключателей (1 на входе I2 или I3) на входе и выходе соответствующей функций задержки выключения (B007 или B008) появляется 1. Контакты выхода контроллера (Q1 или Q2) замыкают цепь питания лампы освещения «зоны» соответствующего оптического выключателя. Одновременно подается сигнал сброса задержки выключения другой лампы (второй сверху вход B007 или B008).

5) При отключении оптического выключателя («объект» покинул зону его действия) лампа продолжает гореть в течение установленной задержки блоков B007 и B008 (5 с), или мгновенно отключается при срабатывании оптического выключателя другого канала.

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Однофазный источник питания	218.1	~ 220 В / 16 А
A1	Блок программируемого контроллера	384	6 цифровых входов / 2 цифровых (аналоговых) входа / 4 релейных выхода
A2	Пост управления	376	3 кнопки без фиксации / 3 кнопки с фиксацией / потенциометр
A3	Блок световой сигнализации	355.2	4 светодиодных лампы 24 В
A4	Блок оптических выключателей	406	2 оптических выключателя
A11	Компьютер	550	С программой «LOGO!SoftComfort»

Указания по проведению эксперимента

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений.
- Включите компьютер.
- Включите устройство защитного отключения и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока программируемого контроллера A1.
- Переведите контроллера в режим отображения «Главного меню» (состояние STOP, см. п. 4.1.3.).
- Запустите программу «LOGO! Soft Comfort» и создайте коммутационную программу. Задайте задержки выключения - 5 с для B007 и B008 (05:00 в параметрах блоков). Номера блоков могут отличаться от указанных на приведенной выше диаграмме.
- Загрузите в контроллера коммутационную программу. Запустите программу на исполнение.
- 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.
Используя рукоятку в верхней части блока A4 перемещайте «объект» (отражатель) из зоны действия одного датчика в зону действия другого. О срабатывании датчика сигнализирует свечение светодиода на его корпусе (виден через окно на лицевой панели блока A4). За состоянием входов и выходов контроллера удобно следить на экране их состояния (входы I – цифровые, AI – аналоговые, выходы – Q. Переход из «Меню запуска» нажатием кнопки ►, см. п. 4.1.6). Убедитесь, что система функционирует в соответствии с заданным алгоритмом.
При необходимости, скорректируйте схему и коммутационную программу.
- По завершении эксперимента остановите коммутационную программу, отключите выключатель «СЕТЬ» блока программируемого контроллера A1 и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.

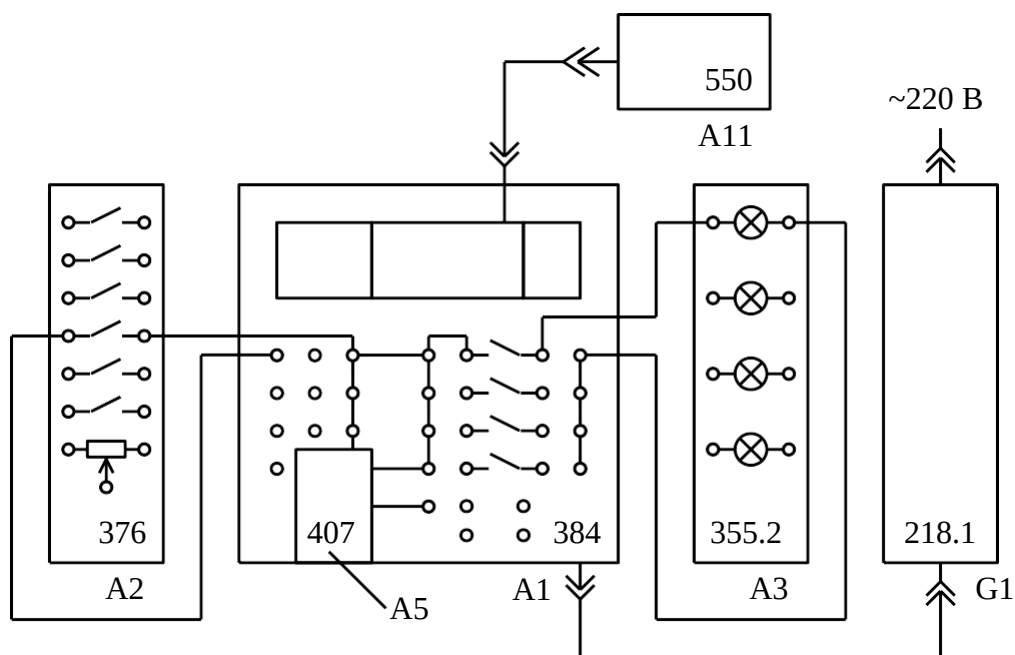
5.3. Автоматическая система управления наружным освещением

- Алгоритм работы системы управления
- Схема электрическая соединений и ее описание
- Коммутационная программа и ее описание
- Перечень аппаратуры
- Указания по проведению эксперимента

Алгоритм работы системы управления

- 1) Включение (отключение) системы осуществляется кнопкой с фиксацией.
- 2) Лампа горит, если освещенность ниже заданного уровня.

Схема электрическая соединений и ее описание



Однофазный источник питания G1 предназначен для безопасного питания блока программируемого контроллера A1.

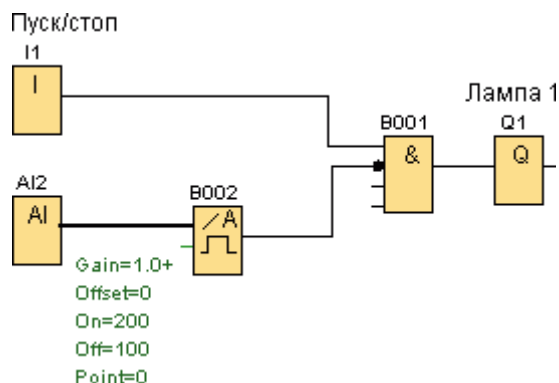
Компьютер A11 подключен кабелем к разъему на лицевой панели контроллера и предназначен для загрузки и отладки коммутационной программы.

Кнопка с фиксацией поста управления A2 предназначена для включения (отключения) системы.

Лампа в блоке A3 имитирует лампу наружного освещения.

Датчик освещенности A5 устанавливается вертикально (соответственно ориентации надписей на его этикетке) непосредственно в гнезда в левой нижней части панели блока A1.

Коммутационная программа и ее описание



В коммутационной программе использованы функции, приведенные в таблице.

	I1 – вход (список Co). Управляет включением/выключением системы (0 – выключена, 1 – включена).
	B001 – функция И (список GF).
	B002 – аналоговый пороговый выключатель (список SF). При настройке устанавливаются параметры: порог включения (On=200, т.е. 2,00 В) и выключения (Off=100, т.е. 1,00 В).
	Q1 – выход программируемого контроллера (список Co). Управляет лампой освещения.

Точка около входа функции обозначает инверсию (логическая операция НЕ) данного сигнала. Для включения (отключения) инверсии укажите курсором на вход и дважды щелкните левой кнопкой мыши.

Работа программы:

1) Логический 0 на входе I1 устанавливает 0 на выходе B001 (функция И) и 0 на выходе контроллера Q1. Система отключена.

2) При установке 1 на входе I1 система включается. Сигнал на выходе B001 (и Q1) является инвертированным сигналом аналогового порогового выключателя. При высокой освещенности пороговый выключатель включен (1 на выходе B002) и 0 на выходах B001 и Q1 (лампа освещения отключена). При низкой освещенности выход порогового выключателя равен 0, на выходах B001 и Q1 – 1, освещение включено.

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Однофазный источник питания	218.1	~ 220 В / 16 А
A1	Блок программируемого контроллера	384	6 цифровых входов / 2 цифровых (аналоговых) входа / 4 релейных выхода
A2	Пост управления	376	3 кнопки без фиксации / 3 кнопки с фиксацией / потенциометр
A3	Блок световой сигнализации	355.2	4 светодиодных лампы 24 В
A5	Датчик освещенности	407	Выход 0...10 В
A11	Компьютер	550	С программой «LOGO!SoftComfort»

Указания по проведению эксперимента

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрических соединений.
- Включите компьютер.
- Включите устройство защитного отключения и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока программируемого контроллера A1.
- Переведите контроллера в режим отображения «Главного меню» (состояние STOP, см. п. 4.1.3.).
- Запустите программу «LOGO! Soft Comfort» и создайте коммутационную программу. Задайте параметры аналогового порогового выключателя (блок B002): порог включения (On=200, 2,00 В) и выключения (Off=100, 1,00 В).
- Загрузите в контроллер коммутационную программу. Запустите программу на исполнение.
- 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.
- По завершении эксперимента остановите коммутационную программу, отключите выключатель «СЕТЬ» блока программируемого контроллера A1 и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.

5.4. Автоматическая система управления исполнительным электродвигателем

- Алгоритм работы системы управления
- Схема электрическая соединений и ее описание
- Коммутационная программа и ее описание
- Перечень аппаратуры
- Указания по проведению эксперимента

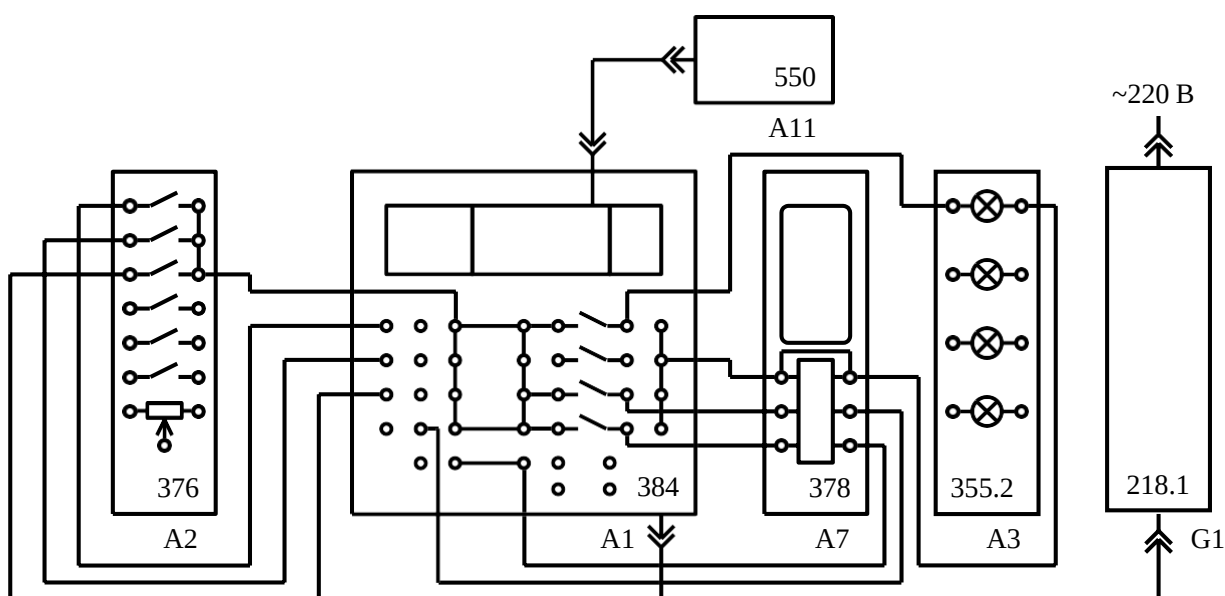
Алгоритм работы системы управления

1). Вращение двигателя против часовой стрелки, по часовой стрелке и остановка двигателя происходят после нажатия на одну из трех кнопок без фиксации.

2). Положение вала двигателя определяется визуально по положению стрелки на шкале (0...100 делений) и по сигналу потенциометрического датчика с выходным напряжением от 0 В (0 шкалы) до 10 В (100 делений шкалы).

3). При нахождении стрелки указателя положения вала двигателя между 50 и 100 делениями шкалы горит красная лампа сигнализации.

Схема электрическая соединений и ее описание



Однофазный источник питания G1 предназначен для безопасного питания блока программируемого контроллера A1.

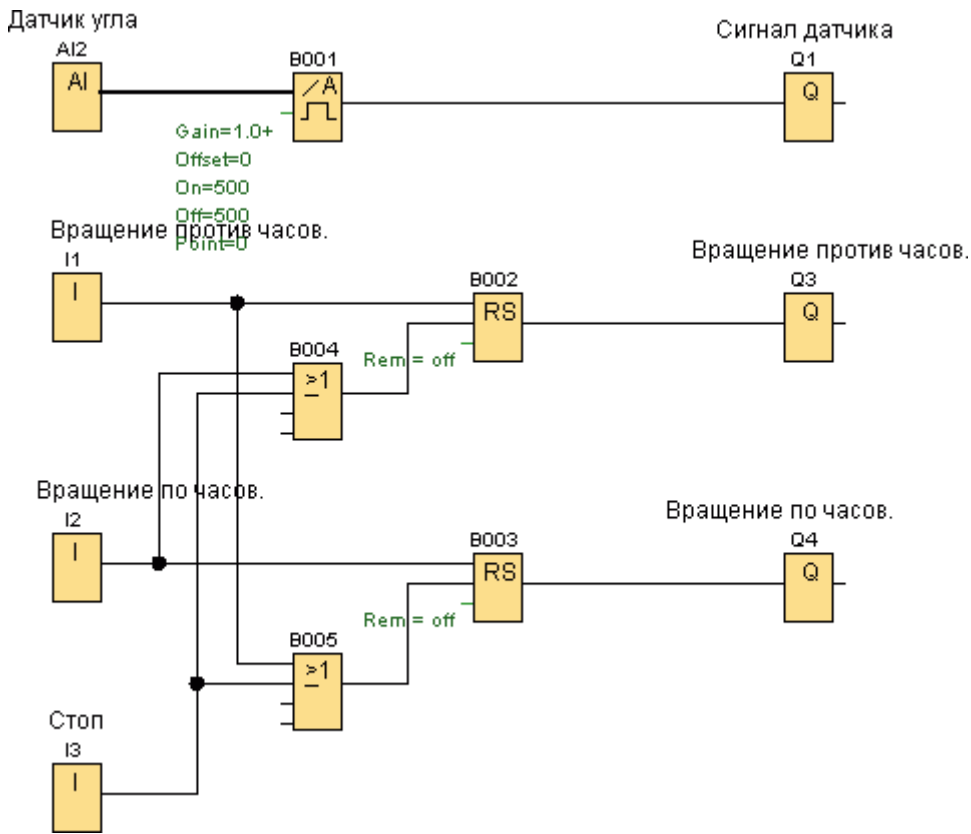
Компьютер A11 подключен кабелем к разъему на лицевой панели контроллера и предназначен для загрузки и отладки коммутационной программы.

Кнопки без фиксации поста управления A2 предназначены для управления двигателем A7: верхняя подает сигнал для начала вращения двигателя против часовой стрелки, вторая сверху – по часовой стрелке, третья сверху подает сигнал на останов двигателя.

На потенциометрический датчик, установленный на валу двигателя А7, подается напряжение питания от блока А1 (0 и +10В). Выходной сигнал потенциометрического датчика поступает на аналоговый вход (AI2) программируемого контроллера А1.

Красная лампа в блоке А3 сигнализирует о нахождении указателя положения вала двигателя между делениями 50 и 100 шкалы.

Коммутационная программа и ее описание



В коммутационной программе использованы функции, приведенные в таблице.

	I1, I2, I3, – входы (список Co). Управляют, соответственно, вращением против часовой стрелки, по часовой стрелке, остановкой двигателя.
	AI2 (I8) – аналоговый вход контроллера А1 (список Co). На вход подается сигнал датчика положения вала двигателя 0...+10 В.
	B002, B003 – RS триггер (список SF). Верхний вход (S=1) – установка 1 на выходе триггера, нижний вход (R=1) – установка 0 на выходе. Если и S=1, и R=1, то на выходе триггера 0 (приоритет R).
	B004, B005 – функция ИЛИ (список GF).
	B001 – аналоговый пороговый выключатель (список SF). При настройке устанавливаются одинаковые значения порогов включения и выключения (On=500, Off=500, т.е. 5,00 В, соответствующие делению 50 шкалы положения

	вала двигателя).
	Q1, Q3, Q4 – выходы программируемого контроллера (список Со). Управляют, соответственно, красной лампой, вращением против и по часовой стрелке.

Работа программы:

1) Сигнал с аналогового входа AI2 поступает на вход аналогового порогового выключателя (B001). Если сигнал превышает порог срабатывания ($On=500$, т.е. 5,00 В) на выходе выключателя B001 и выходе контроллера Q1 устанавливается 1. Контакты Q1 замыкают цепь сигнальной лампы. При снижении сигнала датчика ниже 5,00 В ($Off=500$) лампа отключается.

2) При включении системы на выходах RS триггеров 0, т. е. цепь питания двигателя через контакты выходов Q3 и Q4 разомкнута.

3) Подача 1 на вход I1, устанавливает 1 на выходе триггера B002, и через контакты выхода Q3, подается напряжение на клемму вращения двигателя **против** часовой стрелки. Одновременно сигнал с I1, через B005, устанавливает триггер B003 в 0. При этом контакты выхода Q4 снимают напряжение с клеммы вращения двигателя **по** часовой стрелке.

4) Подача 1 на вход I2, устанавливает 1 на выходе триггера B003, и через контакты выхода Q4, подается напряжение на клемму вращения двигателя **по** часовой стрелке. Одновременно сигнал с I2, через B004, триггер B002 (0 на выходе), контакты выхода Q3, снимает напряжение с клеммы вращения двигателя **против** часовой стрелки.

5) Сигнал 1 на входе I3 (Стоп), через блоки B004, B005, переводит выходы обоих триггеров (B002 и B003) в состояние 0. При 0 на выходах Q3, Q4, двигатель отключен от источника питания и не вращается.

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Однофазный источник питания	218.1	~ 220 В / 16 А
A1	Блок программируемого контроллера	384	6 цифровых входов / 2 цифровых (аналоговых) входа / 4 релейных выхода
A2	Пост управления	376	3 кнопки без фиксации / 3 кнопки с фиксацией / потенциометр
A3	Блок световой сигнализации	355.2	4 светодиодных лампы 24 В
A7	Исполнительный электродвигатель	378	- 24 В
A11	Компьютер	550	С программой «LOGO!SoftComfort»

Указания по проведению эксперимента

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений.
- Включите компьютер.
- Включите устройство защитного отключения и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока программируемого контроллера A1.
- Переведите контроллера в режим отображения «Главного меню» (состояние STOP, см. п. 4.1.3.).
- Запустите программу «LOGO! Soft Comfort» и создайте коммутационную программу. Задайте параметры блока B001 (On=500, Off=500).
- Загрузите в контроллер коммутационную программу. Запустите программу на исполнение.
- 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.
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. 4.1.6).
- По завершении эксперимента остановите коммутационную программу, отключите выключатель «СЕТЬ» блока программируемого контроллера A1 и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6 (4 часа)

Автоматическая система регулирования температуры воздуха в помещении

Цель работы – создание и тестирование натурных моделей автоматических систем регулирования температуры воздуха в помещении.

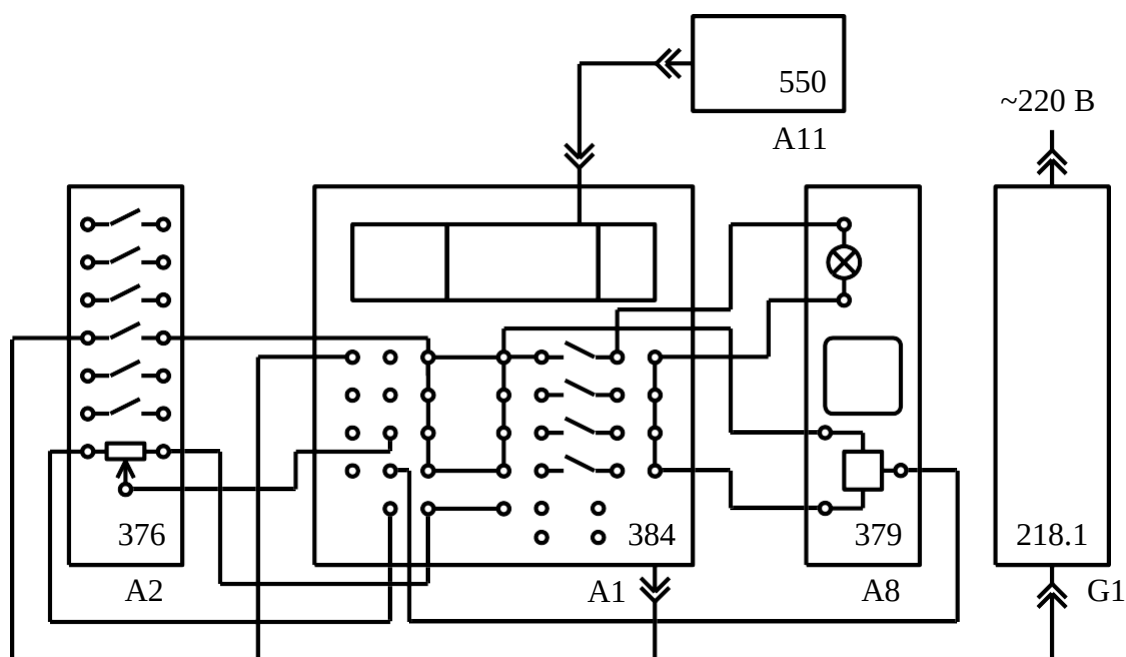
6.1. Автоматическая система импульсного регулирования температуры воздуха в помещении

- Алгоритм работы системы управления
- Схема электрическая соединений и ее описание
- Коммутационная программа и ее описание
- Перечень аппаратуры
- Указания по проведению эксперимента

Алгоритм работы системы управления

- 1) Система включается кнопкой с фиксацией
- 2) Система поддерживает заданную температуру воздуха в помещении в диапазоне 40...60°C путем включения/отключения нагревательного элемента.

Схема электрическая соединений и ее описание



Однофазный источник питания G1 предназначен для безопасного питания блока программируемого контроллера A1.

Компьютер A11 подключен кабелем к разъему на лицевой панели контроллера и предназначен для загрузки и отладки коммутационной программы.

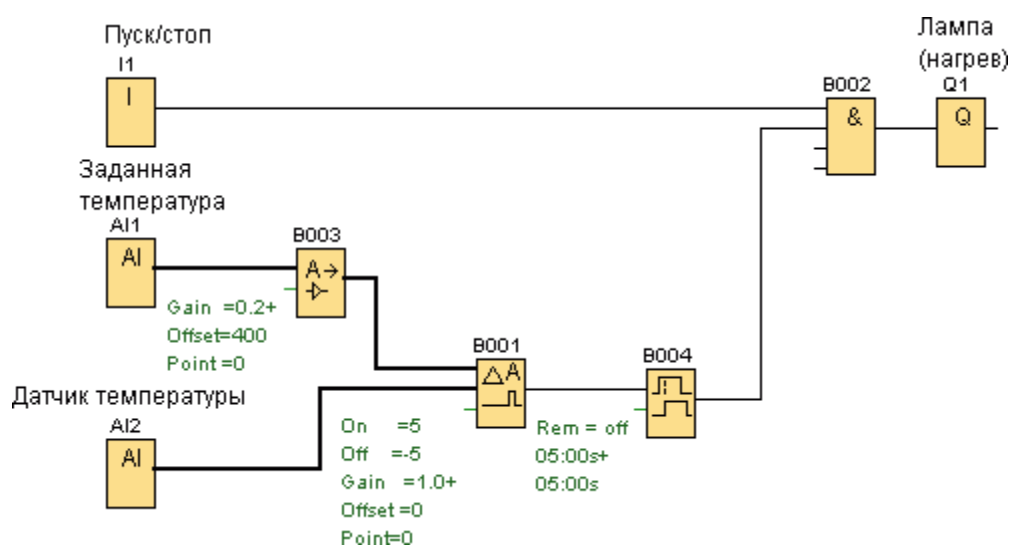
Кнопка с фиксацией поста управления A2 предназначена для включения (отключения) системы.

Переменный резистор в poste управления A2 используется как делитель напряжения для формирования регулируемого аналогового сигнала 0...+10 В, пропорционального уставке температуры воздуха в диапазоне 40...60°C.

Датчик температуры в модели отапливаемого помещения A8 формирует сигнал пропорциональный температуре воздуха в нем.

Лампа накаливания в модели отапливаемого помещения A8 играет роль нагревательного элемента.

Коммутационная программа и ее описание



В коммутационной программе использованы функции, приведенные в таблице.

	I1 – вход (список Co). Управляет включением/выключением системы (0 – выключена, 1 – включена).
	AI1, AI2 (I7, I8) – аналоговые входы контроллера A1 (список Co). На вход AI1 подается сигнал задания температуры с переменного сопротивления (0...+10 В). На вход AI2 - сигнал датчика температуры.
	B003 – аналоговый усилитель (список SF). Для блока установлен коэффициент усиления Gain=0.2 и смещение Offset=400. Выходной сигнал усилителя вычисляется по формуле $AI1 \times Gain + Offset$, т.е. $AI1 \times 0.2 + 400$.
	B001 – аналоговый компаратор (список SF). Установлены порог включения On=5 и выключения Off=-5. Пороги определяются как разность аналоговых сигналов верхнего (по рисунку) и нижнего входов компаратора.

	B004 – задержка включения/выключения (список SF). При переходе сигнала на входе 0→1 или 1→0 аналогичный переход сигнала на выходе происходит спустя заданный промежуток времени (в данном случае 5 с, установленные в параметрах блока).
	B002 – функция И (список GF).
	Q1 – выход программируемого контроллера (список Co). Контакты выхода управляют нагревателем (лампой).

Работа программы:

- 1) Сигнал 0 на входе I1 блокирует работу программы – выход контроллера Q1 находится в состоянии 0, и нагреватель отключен.
- 2) Программа переходит в режим регулирования температуры при 1 на входе I1.
- 3) В заданном диапазоне регулирования температуры (40...60 °C) выходное напряжение датчика температуры изменяется от 4,00 В до 6, 00 В ((40...60 °C)×0,1 В/°C). В коммутационной программе данному диапазону напряжений будут соответствовать числа от 400 до 600 на выходе AI2.
- 4) Сигнал задания температуры на входе контроллера AI1 меняется от 0 до 10 В, что соответствует диапазону изменения сигнала 0...1000 на выходе блока AI1 коммутационной программы. Аналоговый усилитель (B003) преобразует входной сигнал с диапазоном 0...1000 в сигнал диапазона 400...600, согласованный с диапазоном изменения температуры. Для выполнения этого преобразования в качестве параметров блока аналогового усилителя B003 заданы коэффициент усиления Gain=0.2 и смещение Offset=400. Выходной сигнал усилителя вычисляется по формуле $AI1 \times Gain + Offset$, т.е. $AI1 \times 0.2 + 400$.
- 5) Аналоговый компаратор (B001) вычисляет разность заданного и измеренного значений температуры. Если разность превышает порог включения (параметр On=5), то выход компаратора устанавливается в 1. С учетом масштаба аналоговых сигналов в коммутационной программе установленный порог соответствует 50 мВ или 0,5°C. Спустя 5 с сигнал 1 появляется на выходе блока задержки включения/выключения B004, выходе B002 и Q1. Включается лампа нагрева. Временная задержка введена для исключения многократных включений и отключений лампы при медленном переходе температуры через заданный порог срабатывания.
- 6) Когда измеренная температура превышает заданную на величину порога выключения компаратора (параметр Off=-5), выход компаратора переходит в состояние 0. Спустя время задержки блока B004 (5 с) значение 0 устанавливается на выходах B004, B002 и Q1. Лампа нагревателя отключается. При снижении температуры нагреватель вновь включается, и т. д.

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Однофазный источник питания	218.1	~ 220 В / 16 А
A1	Блок программируемого контроллера	384	6 цифровых входов / 2 цифровых (аналоговых) входа / 4 релейных выхода
A2	Пост управления	376	3 кнопки без фиксации / 3 кнопки с фиксацией / потенциометр
A8	Модель отопляемого помещения	379	Лампа накаливания 24 В / датчик температуры 0...10 В
A11	Компьютер	550	С программой «LOGO!SoftComfort»

Указания по проведению эксперимента

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрических соединений.
- Включите компьютер.
- Включите устройство защитного отключения и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока программируемого контроллера A1.
- Переведите контроллер в режим отображения «Главного меню» (состояние STOP, см. п. 4.1.3.).
- Запустите программу «LOGO! Soft Comfort» и создайте коммутационную программу. Задайте параметры блоков B001 (On=5, Off=-5), B003 (Gain=0.2, Offset=400), B004 (On=05:00, Off=05:00).
- Загрузите в контроллер коммутационную программу. Запустите программу на исполнение.
- 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.
Протестируйте работу схемы под управлением контроллера и убедитесь, что система функционирует в соответствии с заданным алгоритмом.
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. 4.1.6).
- По завершении эксперимента остановите коммутационную программу, отключите выключатель «СЕТЬ» блока программируемого контроллера A1 и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.

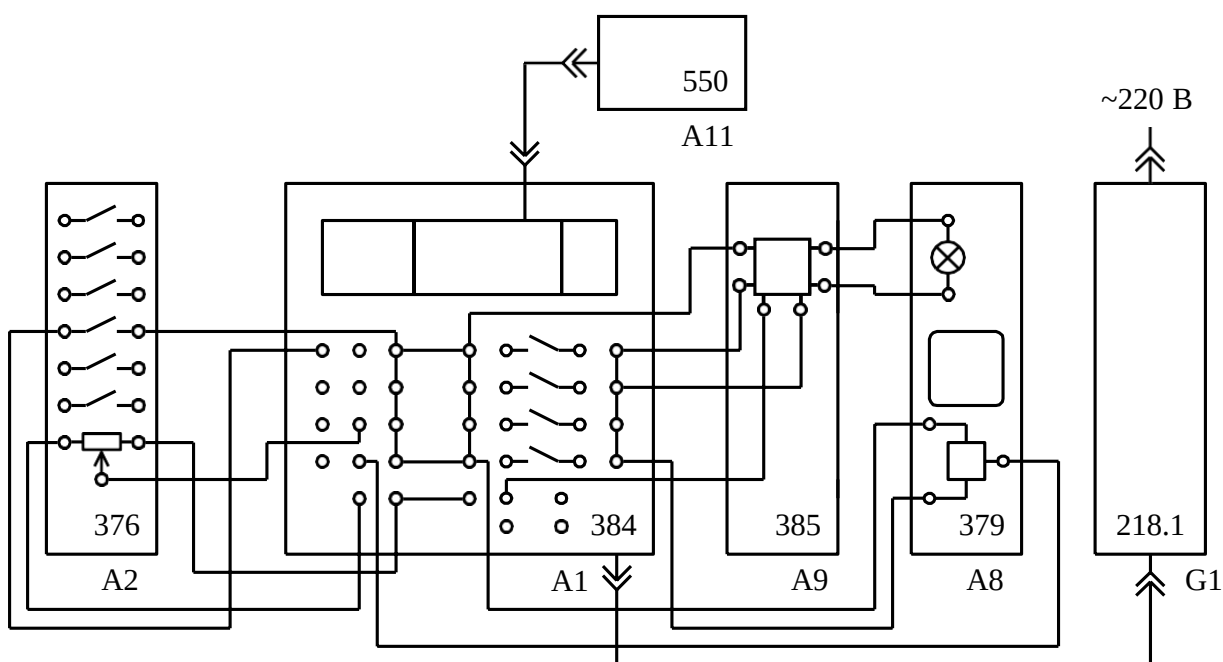
6.2. Автоматическая система непрерывного регулирования температуры воздуха в помещении с помощью ПИ-регулятора

- Алгоритм работы системы управления
- Схема электрическая соединений и ее описание
- Коммутационная программа и ее описание
- Перечень аппаратуры
- Указания по проведению эксперимента

Алгоритм работы системы управления

- 1) Система включается кнопкой с фиксацией
- 2) Сравнивая заданную и измеренную температуру, ПИ-регулятор формирует сигнал управления напряжением питания нагревательного элемента. Система обеспечивает поддержание температуры в диапазоне 40...60°C.

Схема электрическая соединений и ее описание



Однофазный источник питания G1 предназначен для безопасного питания блока программируемого контроллера A1.

Кнопка с фиксацией поста управления A2 предназначена для включения (отключения) системы. При отключенной системе выходной сигнал ПИ-регулятора (аналоговый выход AQ1 контроллера, клемма M1 блока A1) равен 0.

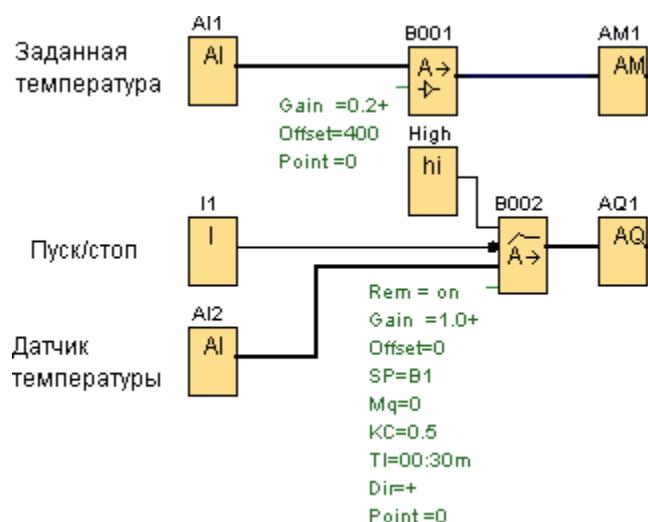
Переменный резистор в poste управления A2 используется как делитель напряжения для формирования регулируемого аналогового сигнала 0...+10 В, задающего температуру в диапазоне 40...60°C.

Датчик температуры в модели отапливаемого помещения А8 формирует сигнал пропорциональный текущему значению температуры.

Лампа накаливания в модели отапливаемого помещения А8 играет роль нагревательного элемента.

При включении системы выходной сигнал ПИ-регулятора поступает на аналоговый выход AQ1 контроллера (клемма М1 блока А1) и, через преобразователь постоянного напряжения А9, задает напряжение питания лампы (нагревателя) в блоке А8.

Коммутационная программа и ее описание



В коммутационной программе использованы функции, приведенные в таблице.

	I1 – вход (список Co). Управляет включением/выключением системы (0 – выключена, 1 – включена).
	AI1, AI2 (I7, I8) – аналоговые входы контроллера А1 (список Co). На вход AI1 подается сигнал задания температуры с переменного сопротивления (0...+10 В). На вход AI2 - сигнал датчика температуры.
	B001 – аналоговый усилитель (список SF). Для блока установлен коэффициент усиления Gain=0.2 и смещение Offset=400. Выходной сигнал усилителя вычисляется по формуле $AI1 \times Gain + Offset$, т.е. $AI1 \times 0.2 + 400$.
	B002 – ПИ-регулятор (список SF). Вход сброса (R, второй сверху) инвертирован.
	Логическая константа Единица (1, высокий уровень) (список Co).
	AM1 - аналоговый флаг (переменная программы) (список Co). Необходим для завершения цепочки блоков, не имеющей подключения к выходу контроллера
	AQ1 – аналоговый выход программируемого контроллера (список Co). Напряжение выхода управляет нагревателем (лампой).

Работа программы:

1) Сигнал 0 с входа контроллера П1 поступает на вход сброса (R) ПИ-регулятора В002 и блокирует его работу независимо от состояния других входов этого блока. На выходе ПИ-регулятора и аналоговом выходе контроллера АQ1 устанавливается сигнал 0. Нагреватель отключен.

2) При 1 на входе П1 снимается блокировка ПИ-регулятора В002. Сигнал 1 (блок High) на входе А/М В002 задает режим автоматической работы ПИ-регулятора. Программа переходит в режим регулирования температуры.

3) В заданном диапазоне регулирования температуры (40...60 °С) выходное напряжение датчика температуры изменяется от 4,00 В до 6,00 В ((40...60 °С)×0,1 В/°С). В коммутационной программе данному диапазону напряжений будут соответствовать числа от 400 до 600 на входе АI2. Сигнал АI2 поступает на вход сигнала обратной связи (PV) ПИ-регулятора В002.

4) Сигнал задания температуры на входе контроллера АП1 меняется от 0 до 10 В, что соответствует диапазону изменения сигнала 0...1000 на входе АП1 коммутационной программы. Аналоговый усилитель (В001) преобразует входной сигнал с диапазоном 0...1000 в сигнал диапазона 400...600, согласованный с диапазоном изменения температуры. Для выполнения этого преобразования в качестве параметров блока аналогового усилителя В001 заданы коэффициент усиления Gain=0.2 и смещение Offset=400. Выходной сигнал усилителя вычисляется по формуле $АП1 \times Gain + Offset$, т.е. $АП1 \times 0.2 + 400$.

5) ПИ-регулятор (В002) определяет разность заданного (SP) и измеренного (PV) значений температуры и вычисляет выходной сигнал управления нагревателем, поступающий на аналоговый выход контроллера АQ1. Заданное значение температуры (SP) передается в блок ПИ-регулятора косвенно, как ссылка на номер блока усилителя В001, вычисляющего эту величину.

6) Параметры ПИ-регулятора (В002).

Откройте окно параметров блока двойным щелчком левой кнопки мыши на значке блока в окне диаграммы LOGO!SoftComfort. Установите параметры как показано на рисунке (стр. 93). Для установки «Заданное значение (SP)» необходимо нажать кнопку «Ссылка» в этой строке и выбрать из списка блок В001 (Аналоговый усилитель). Для быстрой установки параметров ПИ-регулятора в строке «Наборы параметров» выберите «Температура быстро». Установив параметры, нажмите кнопку «Да» внизу окна.

Параметры регулятора могут быть введены и с лицевой панели контроллера, как в режиме редактирования программы, так и в режиме ее выполнения (RUN). В этом случае для ввода параметров необходимо установить курсор на вход Par блока ПИ-регулятора и нажать ОК. Список параметров ПИ-регулятора занимает 4 экрана контроллера. Номер экрана отображается в правом верхнем углу. Для перехода между экранами используются кнопки перемещения курсора влево и вправо (◀, ▶).

SP=B1 – заданное значение температуры. Указана ссылка на номер блока усилителя В1 (т. е. блок В001), вычисляющего это значение.

КС=0,5 (Коэффициент усиления). Коэффициент усиления пропорционального и интегрирующего звеньев одинаков и равен КС.

TI=00:30 (Время интегрирования 30 с).

Dir=+. Направление действия регулятора (+ - выходной сигнал регулятора увеличивается, если текущее значение температуры ниже заданной величины).

Mq=0. Значение в ручном режиме сигнала на выходе АQ (А/М=0). В рассматриваемой программе ручной режим ПИ-регулятора не используется.

Min=0 (минимум). Минимальное значение для PV.

Max=1000 (максимум) Максимальное значение для PV.

A (Gain, Усиление) = 1,0+. Усиление PV, равное +1.

B (Offset, Смещение) = 0. Смещение нулевой точки PV.

r=0 – количество знаков после запятой в тексте сообщения при отображении параметров блока на экране в режиме RUN. В рассматриваемой программе вывод параметров на экран контроллера не предусмотрен.

Параметры A (Gain) и B (Offset) используются для пересчета значения PV внутри блока ПИ-регулятора по формуле $PV = Gain \times PV + Offset$. Пересчитанная величина PV сравнивается с заданным значением SP.

Период обновления данных на выходе ПИ-регулятора фиксирован и равен 500 мс.

Указанные параметры могут быть изменены и в режиме исполнения программы RUN. Для этого необходимо в «Меню запуска» нажать Esc, перейти к «Меню параметризации» (рис. 1.1.2), выбрать пункт Set Param и нажать ОК. Выбор номера блока и перемещение от параметра к параметру производится стрелками движения курсора влево/вправо, изменение значения параметра – стрелками вверх/вниз, сохранение нового значения – кнопкой ОК.

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Однофазный источник питания	218.1	~ 220 В / 16 А
A1	Блок программируемого контроллера	384	6 цифровых входов / 2 цифровых (аналоговых) входа / 4 релейных выхода
A2	Пост управления	376	3 кнопки без фиксации / 3 кнопки с фиксацией / потенциометр
A8	Модель отапливаемого помещения	379	Лампа накаливания 24 В / датчик температуры 0,1 В/°С
A9	Преобразователь постоянного напряжения	385	Входное напряжение 0...10 В; Выходное напряжение 1,5...24 В
A11	Компьютер	550	С программой «LOGO!SoftComfort»

Указания по проведению эксперимента

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений.
- Включите устройство защитного отключения и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока программируемого контроллера A1.
- Переведите контроллер в режим отображения «Главного меню» (состояние STOP).
- 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 блоков B001 (Gain=0.2, Offset=400), B002 (см. выше описание программы). Запустите программу на исполнение (пункт Start «Главного меню»).
- 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.
Протестируйте работу схемы под управлением контроллера и убедитесь, что система функционирует в соответствии с заданным алгоритмом.
Заданное и фактическое значение температуры отображаются на экране состояния аналоговых входов AI «Меню запуска» (см. п. 1.1.6). Для перехода к указанному экрану в режиме исполнения программы (RUN) нажимаем кнопку управления курсором на корпусе контроллера (►) до появления экрана состояния входов AI1, AI2.

A I :					
1 :	0	0	6	0	0
2 :	0	0	5	0	4
3 :	0	0	0	0	0

В строке 1: на экране отображается напряжение на входе AI1 (0...+10 В) умноженное на 100, т. е. диапазон значений AI1=0...1000. Заданная температура вычисляется по формуле $AI1 \times 0,2 + 400$ и изменяется в диапазоне 400...600, что соответствует заданию температуры в диапазоне от 40° до 60°C. В строке 2: отображается текущее значение температуры, умноженное на 10, т. е. 00504 на рисунке соответствует 50,4°C.

Выберите какое-либо значение температуры в диапазоне $t=40^\circ \dots 60^\circ \text{C}$. Вычислите соответствующее ему значение $AI1=50 \times t - 2000$. Вращая переменный резистор поста управления A2, установите эту величину в строке 1: на экране контроллера. Пронаблюдайте за изменением текущего значения температуры (строка 2: отображает $t \times 10$) и оцените работу системы регулирования.

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).

- По завершении эксперимента остановите коммутационную программу (**ESC>Stop>Yes**), отключите выключатель «СЕТЬ» блока программируемого контроллера A1 и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.

Список рекомендуемой литературы

Основная учебная литература

- 1 Беспалов, А. В. Системы управления химико-технологическими процессами : учебное пособие для вузов / А. В. Беспалов, Н. И. Харитонов. – М. : ИКЦ «Академкнига», 2005.
2. Иващенко, Н. И. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем / Н.И. Иващенко. – М., 2003.
3. Кулаков, М. В. Технологические измерения и приборы для химических производств / М. В. Кулаков. – М. : Химия, 2002.
4. Теория автоматического управления / под редакцией Ю. М. Соломенцева. – М. : Высшая школа, 2003.

Дополнительная литература

5. Бесекерский, В. А. Теория автоматического управления. Издание 4-е перераб.и доп. / В. А. Бесекерский, Е. А Попов. – СПб. : Профессия, 2007.
6. Бабаева, С. Г. Теория автоматического управления: учебное пособие / С. Г.Бабаева. – Ставрополь, 1996.
7. Юрьевич, Е. И. Теория автоматического управления. 3-е изд. / Е. И.Юрьевич
8. Шувалов, В. В. Автоматизация производственных процессов химической промышленности / В. В. Шувалов. – М. : Химия, 1999.