

Министерство народного образования БССР
БЕЛОРУССКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Кафедра "Технология машиностроения"

ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

Рабочая программа, методические указания и
задания к контрольным работам для студентов заочной
формы обучения специальности I2.01 - "Технология
машиностроения"

М и н с к 1 9 9 2

Министерство народного образования БССР
БЕЛОРУССКИЙ ОРДЕНА ТРУДОМОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Кафедра "Технология машиностроения"

ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

Рабочая программа, методические указания и
задания к контрольным работам для студентов заочной
формы обучения специальности 12.01 - "Технология
машиностроения"

М и н и с к 1 9 9 2

Работа подготовлена в соответствии с учебным планом для студентов специальности 12.01 — "Технология машиностроения".

В работе приведена рабочая программа, составленная на основании типовой программы дисциплины "Теория автоматического управления", утвержденной Учебно-методическим объединением по специальностям автоматизированного машиностроительного производства Государственного комитета СССР по народному образованию от 21.02.1989 г.

В методических указаниях даны рекомендации для самостоятельного изучения дисциплины, приведена рекомендуемая литература, варианты индивидуальных заданий по контрольной работе, излагаются содержание и порядок ее выполнения, а также требования по оформлению и объему.

Контрольная работа направлена на закрепление знаний по теории автоматического управления и приобретение навыков их практического применения.

Составил Г. П. Комдик

Рецензенты:

И. И. Демидович, И. А. Каштальян

В в е д е н и е

В современных условиях системы автоматического управления /САУ/ стали неотъемлемой частью машиностроительного производства. Они применяются как для управления отдельными станками в агрегатах, так и для управления сложными роботизированными и автоматизированными технологическими комплексами, а также гибкими производственными системами механообработки.

Цель изучения дисциплины "Теория автоматического управления технологическими системами" заключается в расширении мировоззрения студентов и освоения общих принципов и средств, необходимых для управления динамическими системами различной физической природы применительно к производственным и технологическим процессам в машиностроении.

Дисциплина призвана сформулировать у студента системный подход к решению актуальных задач управления автоматическим и автоматизированным производственным и технологическим процессом на базе современного программно-управляемого оборудования и средств вычислительной техники.

Дисциплина ставит своими задачами: приобретение студентами знаний по общим принципам и тенденциям развития современных систем управления технологическими и производственными процессами; освоение основ построения и методов проектирования систем управления; ознакомление с современными техническими средствами управления и управляющей вычислительной техникой; умение разрабатывать математические модели отдельных подсистем.

Дисциплина "Теория автоматического управления технологическими системами" базируется на усвоении студентами фундаментальных положений дисциплин: "Высшая математика" (линейные и нелинейные дифференциальные уравнения; операционное исчисление — понятие об оригинале и изображении, прямые и обратные преобразования по Лапласу; теория комплексных переменных; матрицы и определители), "Физика" (теория колебаний; сухое и вязкое трение), "Теоретическая механика", "Электротехника, электроника и микропроцессорная техника", "Технология машиностроения", "Вычислительная техника, программирование и математическое моделирование".

Материал дисциплины служит теоретической основой для изуче-

ния специальных дисциплин: "Основы автоматизации производственных процессов", "Проектирование автоматических участков и цехов", "Автоматизация производственных процессов в машиностроении" и др., а также при дипломном проектировании.

I. ПОРЯДОК И МЕТОДИКА ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение дисциплины осуществляется по рабочей программе, приведенной ниже. Основной формой изучения материала студентами-высочниками является самостоятельная работа с учебной и научно-технической литературой.

На лекционные и практические занятия в институте учебным планом отводится небольшое число часов. Поэтому преподаватель может дать студентам лишь общие сведения о структуре и содержании дисциплины и рассказать только о некоторых ее основных понятиях и определениях. Закрепить теоретические знания и освоить определенные практические навыки по решению задач управления технологическими процессами и оборудованием можно при самостоятельной работе с учебниками, учебными пособиями и технической литературой. Работать с литературой необходимо систематически в соответствии с приведенной программой курса.

При изучении дисциплины и работе с учебной литературой целесообразно вести конспект, содержащий краткие теоретические сведения, рисунки, графики, математические выражения. При составлении такого конспекта в подготовке к зачету необходимо прежде всего использовать литературу, указанную в рабочей программе.

Выполнение контрольной работы следует вести в ходе изучения теоретического материала и высылать ее на проверку в сроки, указанные в учебном графике. Своевременная проверка контрольных работ позволяет преподавателю оценить, как студент осваивает материал, и помочь ему в этом.

Дисциплина "Теория автоматического управления технологическими системами" изучается на 4 курсе в 2 семестре, в течение которого необходимо выполнить одну контрольную работу.

2. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

2.1. Введение [1], с. 5-7; [2], с. 5-10; [3], с. 5-6

Цели, задачи и содержание курса. Связь курса с общетеорети-

ческими и специальными дисциплинами. История развития науки об управлении. Роль науки об управлении в решении народнохозяйственных задач.

Методические указания

Дисциплина "Теория автоматического управления технологическими системами" ставит целью ознакомить студентов с общими принципами построения САУ, с процессами управления и методами их исследования. Принципы построения САУ технологическими системами связаны с общими законами управления, значение которых выходит далеко за пределы технических задач. Поэтому при изучении этой дисциплины предполагается, что студенты изучили необходимые разделы курсов высшей математики, физики, электротехники, теоретической механики и вычислительной техники, а также знакомы с объектами и элементами автоматики из других курсов. С другой стороны, на базе этой дисциплины будут изучаться специальные курсы: "Автоматизация производственных процессов в машиностроении", "Основы автоматизации производственных процессов в машиностроении", "Проектирование автоматизированных участков и цехов" и т.д.

При изучении истории развития науки об управлении следует отметить, что большой вклад в развитие автоматики внесли русские и советские ученые. Необходимо уяснить, что вопросу автоматизации производственных процессов как одному из главных направлений научно-технического прогресса должно быть уделено особое внимание.

Вопросы для проверки

1. Сформулируйте цели и задачи изучения дисциплины.
2. Назовите основные этапы развития автоматического управления.
3. Роль русских и советских ученых в развитии и создании теории автоматического управления.

2.2. Основы управления производственными и технологическими процессами [4, с.6-7, 16-25, 28-35; 5], с.5-7

Основные понятия и определения теории управления технологическими системами. Информация и управление. Управление технологическими процессами. Основные принципы кибернетики как науки об управлении. Задачи и структура управления технологическими объектами.

Методические указания

При изучении раздела необходимо уяснить смысл понятий "система", "элементы", "связи", "свойства", а также терминов "структура системы", "целостность системы", "управление" и "процесс".

Следует отметить, что под управлением в технических системах понимается совокупность действий, осуществленных на основе определенной информации и направленных на поддержание заданных параметров производственного процесса и режимов эксплуатации технологического оборудования или обеспечивающих улучшение работы технологического объекта в соответствии с имеющейся программой или целью функционирования. При этом функция управления представляется как соотношение между входами и теми преобразованиями, которые необходимы для получения целевого продукта.

При организации современного технологического процесса выделяют три подсистемы преобразования: вещества, энергии, информации. Среди них невозможно выделить главную и второстепенные, т.к. они в своем функционировании равноправны и образуют автоматизированный технологический комплекс.

Из неограниченного множества различных систем необходимо подробно рассмотреть лишь один их класс - системы управления технологическими процессами. При этом надо учитывать, что любой целенаправленный процесс, происходящий в агрегате, машине или выполняемый человеком, представляет собой организованную совокупность двух условных групп операций: рабочие операции и операции управления. Рабочие операции - это действия, необходимые непосредственно для выполнения технологического процесса в соответствии с природой и законами, определяющими ход процесса. Для достижения цели процесса рабочие операции должны координироваться действиями другого рода - операциями управления. Совокупность операций управления образует процесс управления.

Можно указать, что управление - это совокупность действий, выбранных на основании определенной информации и направленных на поддержание или улучшение работы объекта в соответствии с имеющейся программой или целью функционирования.

При изучении управления технологическими процессами необходимо обратить внимание на структуру технологического процесса, фазы производственного процесса, классификацию и структуру современных технологических объектов управления, функции и методы

управления технологическим процессом, иерархий в управлении им, основные операции управления технологическим процессом и параметры технологических процессов.

При рассмотрении основных принципов кибернетики надо учитывать, что это наука об общих закономерностях процессов управления, преобразования и передаче информации в машинах, живых организмах и их объединениях. При этом центральной задачей технической кибернетики является синтез эффективных алгоритмов управления с целью определения структуры, характеристик и параметров управляющих устройств, обеспечивающих наилучшее в некотором смысле протекание процессов управления.

Следует изучать задачи и структуру управления технологическими объектами. При этом следует обратить внимание на виды и особенности алгоритмов управления, алгоритмизацию технологических процессов и структуру формирования технологического цикла.

Вопросы для проверки

1. Дайте определение понятию "система".
2. Дайте определение понятию "управление".
3. Дайте определение понятию "процесс".
4. Дайте определение понятиям "прямая связь" и "обратная связь".
5. В чем состоят информационные особенности управления?
6. Назовите виды информации о состоянии системы управления.
7. В чем состоит ценность и своевременность информации при управлении?
8. Из чего складывается структура технологического процесса?
9. Назовите основные фазы производственного процесса в машиностроении.
10. Что такое технологический объект управления?
11. Назовите основные особенности управляемого технологического процесса.
12. Назовите основные функции управления производством.
13. Перечислите основные операции управления технологическим процессом.
14. Перечислите основные принципы кибернетики как науки об управлении.
15. Назовите виды и особенности алгоритмов управления.

2.3. Принципы построения систем автоматического управления и их классификация [1], с.104-106; [2], с.13-18; [3], с.9-24; [5], с.5-25

Основные понятия и определения теории автоматического управления. Виды автоматического управления. Основные принципы автоматического управления. Классификация систем автоматического управления. Функциональные схемы систем автоматического управления.

Методические указания

Наиболее важно определить объект управления /ОУ/. Под ОУ понимается устройство, требуемый режим работы которого поддерживается извне специально организованными воздействиями. Процесс осуществления воздействий называется управлением. Если процесс управления осуществляется без участия человека, то такое управление называется автоматическим, а устройство, его осуществляющее, называется управляющим устройством /УУ/. Совокупность ОУ и автоматического УУ, взаимодействующих между собой, называется системой автоматического управления /САУ/. При работе САУ на нее поступают различные воздействия. Под воздействием в общем случае понимается воздействие внешней среды на известную часть системы или одной части системы на другую, при котором изменяются явления в части, испытывающей это воздействие.

В зависимости от количества используемых в САУ каналов информации и их структуры различают два вида автоматического управления: разомкнутое и замкнутое, т.е. системы управления разделяются на разомкнутые и замкнутые.

В разомкнутых системах управляющее воздействие задается без учета действительного значения управляемой величины на основании цели управления, характеристик ОУ и известных внешних воздействий. В замкнутых системах управляющее воздействие формируется в непосредственной зависимости от управляемой величины.

В зависимости от задач, поставленных перед САУ, основные виды автоматического управления можно разделить на следующие группы: 1) стабилизирующее управление с целью поддержания постоянства управляемой координаты; 2) программное управление с целью изменения управляемой координаты по заранее известному закону, заданному программой; 3) следящее управление с целью изменения управляемой

координаты по заранее неизвестному закону; 4) адаптивное управление, приводящее систему к наилучшему в каком-либо смысле режиму работы.

Существуют три различных принципа построения САУ, обеспечивающие реализацию требуемого закона изменения управляемой величины: по задающему воздействию, по возмущению, по отклонению.

Ввиду большого разнообразия САУ, которые могут различаться функциональными возможностями, принципами построения и способом конструктивной реализации, не представляется возможным рассмотреть их полную классификацию. Поэтому достаточно изучить лишь основные классификационные признаки этих систем: способ управления, принцип действия, назначение, способность поддержания точности регулируемой величины, вид сигналов управления, характер информации об условиях работы, вид математического описания, количество выходных координат и вид контуров регулирования.

Существует также классификация САУ по другим признакам, например, по функциональному назначению (САУ температуры, давления, расхода и т.п.); по виду энергии, используемой для регулирования (электрические, гидравлические, пневматические и другие САУ) и т.д.

При изучении функциональных схем САУ обратить внимание, что элементы автоматических систем по функциональному назначению можно разделить на измерительные, усилительные, преобразовательные, вычислительные, исполнительные и корректирующие устройства.

Вопросы для проверки

1. Дайте определения понятиям "объект управления", "управляющее устройство", "система автоматического управления".
2. Назовите различные виды воздействий.
3. Какими величинами можно охарактеризовать состояние ОУ?
4. Назовите виды автоматического управления.
5. В чем заключается принцип управления по задающему воздействию?
6. В чем заключается принцип управления по возмущению?
7. В чем заключается принцип управления по отклонению?
8. Какие виды обратных связей применяются в САУ?
9. Назовите основные признаки классификации САУ.
10. Как разделяются по функциональному назначению элементы автоматических систем?

2.4. Математическое описание линейных систем
[1], с. 146-147, 177-180; [2], с. 24-28;
[3], с. 47-66; [4], с. 274-282; [5], с. 26-95

Понятие о математической модели системы управления. Идентификация технологических объектов управления. Понятие об установившемся процессе. Статические характеристики элементов и систем автоматического управления. Построение статических характеристик соединений элементов. Линеаризация статических характеристик элементов и систем. Понятие о динамическом режиме. Уравнения динамики САУ. Линеаризация дифференциальных уравнений. Составление уравнений динамических режимов САУ. Методы решения уравнений динамики (классический метод, операторный метод, частотный метод). Математическое представление сигналов. Виды управляющих и возмущающих воздействий. Динамические характеристики элементов и САУ (переходная, импульсная и передаточная функции, частотные характеристики). Типовые динамические звенья (безинерционные, апериодическое, колебательное, дифференцирующее, интегрирующее, запаздывающее) и их характеристики. Составление структурных схем САУ. Передаточные функции системы при различных включениях звеньев.

Методические указания

В теории автоматического управления при разработке САУ рассматривают их математические модели, т.е. модели, которые получаются в результате математического описания системы. Математическое описание САУ можно считать законченным, когда получены дифференциальные и алгебраические уравнения для всех элементов и связей в количестве, необходимом для определения неизвестных переменных величин.

Принципы и методы получения и представления математических моделей объекта, а также сам процесс получения таких моделей называются идентификацией. Чем точнее математическая модель технологического объекта, тем эффективнее и результативнее можно осуществить управление.

Свойства звеньев, их соединений и САУ в целом определяются их характеристиками. Они могут быть статическими и динамическими.

Статические характеристики определяют зависимость между входной и выходной величинами звена или системы в установившемся

процессе. Так, реальные уравнения статических характеристик элементов и автоматических систем нелинейны, то их замена близкими к ним линейными уравнениями называется линеаризацией. Существуют разные методы линеаризации. Необходимо освоить метод малых отклонений (для аналитических статических характеристик) и метод осреднения (для неаналитических статических характеристик).

Системы управления, как правило, работают в неустановившемся, переходном режиме. Такой динамический режим работы является следствием воздействия на САУ непрерывно и случайно изменяющихся внешних возмущающих воздействий, приводящих к непрерывному изменению входных и выходных величин во всех звеньях. Исследование переходных процессов САУ основывается на использовании интегродифференциальных уравнений, называемых уравнениями динамики. Необходимо знать методы составления, линеаризации и решения уравнений динамики.

Сигналы являются материальными носителями информации, обуславливающей работу САУ. При анализе динамических процессов в ней в качестве сигналов управления или возмущения выбираются некоторые типовые сигналы: ступенчатый сигнал, гармонический сигнал и др. Наиболее часто применяются сигналы возмущающих воздействий — сигналы типа "сброс нагрузки", "наброс нагрузки", "случайное воздействие".

Оценка качества функционирования САУ основывается на исследовании их статических и, особенно, динамических характеристик. Они служат критерием количественной и качественной оценки свойств элементов и САУ в переходном процессе их работы. Это характеристики, отображающие переходный процесс в системе при различных формах воздействий. Динамические характеристики в зависимости от способа получения могут быть представлены в виде переходной, импульсной или передаточной функций, а также в виде частотных характеристик.

Характер переходного процесса в САУ зависит от динамических свойств элементов, из которых она состоит. Однако все эти элементы независимо от их назначения и конструктивного исполнения подразделяются на ограниченное число звеньев, обладающих одинаковыми динамическими свойствами и называемых типовыми динамическими звеньями. Необходимо знать математическое описание и основные характеристики безинерционного, аperiodического, колебательного, дифференцирующего, интегрирующего и запаздывающего звеньев.

САУ можно представить типовыми динамическими звеньями и изобразить на схеме. Такую схему, в которой все элементы или их составные части представлены типовыми динамическими звеньями, называют структурной схемой системы. Структурные схемы САУ составляют путем выделения динамических звеньев таким образом, чтобы для них можно было наиболее просто определить передаточные функции. Следует отметить, что различные структурные схемы могут обладать одинаковыми передаточными функциями, т.е. быть динамически эквивалентными. Поэтому надо знать общие правила, с помощью которых одна схема может быть преобразована в другую с сохранением динамических характеристик системы.

Вопросы для проверки

1. Дайте определение понятию "статическая характеристика".
2. Назовите виды статических характеристик.
3. Чем отличается статический элемент от астатического?
4. Дайте определение понятию "линеаризация".
5. Какие существуют методы линеаризации статических характеристик?
6. Дайте определения понятиям "установившийся режим" и "переходный режим" процесса управления. Как можно их описать?
7. Дайте определение понятию "динамическое звено".
8. Какие существуют методы линеаризации нелинейных дифференциальных уравнений?
9. Как составляются уравнения динамики?
10. Назовите методы решения уравнений динамики.
- II. Назовите виды сигналов управления и возмущения.
12. Какие из динамических характеристик относятся к временным?
13. Какие из динамических характеристик относятся к частотным?
14. Почему введено понятие "типовое динамическое звено"? Назовите основные типовые динамические звенья.
15. Какие виды соединений динамических звеньев вы знаете?

2.5. Устойчивость линейных систем [1], с. 143-161; [2], с. 101-122; [3], с. 86-93; [4], с. 282-303; [5], с. 96-109, 114-117

Основные понятия об устойчивости САУ. Критерии устойчивости. Сравнение критериев устойчивости и рекомендации по их применению. Понятие о запасе устойчивости. Метод Д-разбиения.

Методические указания

Уяснить общие положения об устойчивости как необходимом условии работоспособности САУ. Изучить теоремы А.М.Ляпунова об устойчивости линеаризованных систем. Освоить методику применения критериев Гурвица, Рауса, Михайлова, Найквиста и знать, когда целесообразно применять тот или иной критерий.

Обратить внимание, что при анализе устойчивости системы целесообразно ввести понятие запаса устойчивости по модулю и фазе. Знать, как определить этот запас с помощью различных критериев устойчивости. Уметь применить метод Д-разбиения для отыскания границ областей устойчивости системы управления

Вопросы для проверки

1. Дайте определение понятию "устойчивость системы".
2. Сформулируйте теоремы А.М.Ляпунова.
3. Сформулируйте алгебраические и частотные критерии устойчивости.
4. Расскажите, как использовать логарифмические частотные характеристики САУ для оценки устойчивости.
5. Что такое запас устойчивости по модулю и фазе?

2.6. Качество процесса управления [1], с.161-171; [2], с.123-149; [3], с.93-115; [5], с.123-133

Понятие о качестве процесса управления. Основные показатели качества процесса управления (быстродействие, перерегулирование, точность, число колебаний и др.). Методы оценки качества переходных процессов САУ (прямые и косвенные методы, метод распределения корней, интегральные методы, частотные методы).

Методические указания

Устойчивость является необходимым, но недостаточным условием работоспособности САУ. Под качеством процесса управления понимают свойство САУ поддерживать с достаточной точностью и быстродействием заданный закон изменения регулируемого параметра. Показатели качества характеризуют динамические свойства системы и определяются по кривой переходного процесса. Требования к этим показателям могут быть самыми разнообразными. Необходимо знать основные

показатели качества процессов управления и уметь их применять в практике существующих инженерных методов.

Вопросы для проверки

1. Перечислите основные показатели качества процесса управления.
2. Назовите выражения для определения перерегулирования.
3. Чем отличается динамическая ошибка от статической?
4. Назовите основные методы оценки качества переходных процессов САУ.
5. Назовите основные методы оценки качества переходных процессов САУ.

2.7. Синтез систем автоматического управления [1], с. 313-315; [2], с. 154-171; [3], с. 115- 124; 143-149; [4], с. 136-141, 143-146, 150-155

Синтез САУ по заданным показателям качества процесса управления. Способов коррекции систем управления (последовательная, параллельная и др.). Синтез корректирующих устройств по ДЧХ. Применение ЗММ при синтезе САУ.

Методические указания

Прежде всего необходимо усвоить сущность задачи синтеза САУ. Обратит внимание на содержимое основных этапов синтеза систем управления. Знать основные методы синтеза САУ и способы коррекции их динамических свойств. Уметь определить структуру и параметры корректирующих устройств по логарифмическим частотным характеристикам. При разработке САУ необходимо учитывать, что эффективным методом ее анализа и синтеза является метод структурного математического моделирования с применением ЗММ.

Вопрос для проверки

1. Для чего применяются корректирующие устройства?
2. Назовите основные этапы синтеза САУ.
3. Назовите способы коррекции систем управления.
4. Какие методы применяются для определения структуры и параметров корректирующих устройств?
5. Как можно построить желаемую логарифмическую амплитудно-частотную характеристику?

2.8. Нелинейные системы автоматического управления [2], с. 236-256; [3], с. 124-134; [4], с. 284-285; [5], с. 216-219, 223-224

Понятие о нелинейных звеньях и системах. Виды нелинейностей: "насыщение", "гистерезис", "ограничение", "люфт", "зона нечувствительности", "сухое трение", "релейные характеристики" и др. Методы исследования нелинейных САУ.

Методические указания

Многие технологические объекты обладают существенной нелинейностью, что необходимо учитывать при проектировании САУ. Для этого надо знать особенности нелинейных САУ и виды встречающихся на практике нелинейностей, характеризующих насыщение, нечувствительность, люфт, сухое трение и т.д. Наличие нелинейных звеньев в структуре САУ обуславливает описание динамических процессов нелинейными дифференциальными уравнениями, аналитические методы решения которых отсутствуют. Поэтому надо обратить внимание на применяемые в практике инженерных исследований методы фазовой плоскости, точечных преобразований, гармонической линеаризации, прямой метод А.М. Ляпунова, метод В.М. Попова и др.

Вопросы для проверки

1. Дайте определение нелинейной САУ.
2. В чем проявляются различия поведения линейных и нелинейных систем в динамике?
3. Назовите нелинейные элементы с гладкой нелинейной и с кусочно-линейной характеристиками.
4. Назовите нелинейные элементы с однозначными и неоднозначными характеристиками.
5. В чем особенности методов исследования нелинейных САУ?

2.9. Элементы и устройства систем управления технологическими процессами [1], с. 25-103; [2], с. 303-374, 377-380, 448-450, 457-481, 487-493; [3], с. 24-46; [4], с. 297-305, 314-317; [6], с. 74-86

Измерительные преобразователи параметров технологических процессов (задачи контроля в САУ, основные параметры и классификация датчиков, параметрические и генераторные преобразователи, датчики

положения, датчики состояния). Промежуточные преобразователи автоматических систем. Вторичные приборы. Реле. Усилители. Цифровые устройства систем управления. Исполнительные устройства автоматических систем.

Методические указания

При изучении данного раздела необходимо прежде всего обратить внимание на задачи контроля в системах управления технологическими процессами, основные параметры и классификацию датчиков, их принцип действия и назначения. Из всего многообразия применяемых датчиков следует выделить такие их группы, как параметрические и генераторные измерительные преобразователи, датчики положения и состояния, датчики пути и размерные датчики, аналоговые и дискретные датчики.

Следует отметить, что если промежуточные преобразователи автоматических систем являются внутрисистемными и служат для превращения сигнала одного вида в другой, то вторичные приборы применяются для преобразования контролируемых параметров и представления их оператору.

Из числа применяемых реле следует рассмотреть такие их типы, как электромагнитное нейтральное, поляризованное, магнитоэлектрическое и электронное. Знать сравнительные достоинства и недостатки различных типов реле.

При изучении усилителей обратить внимание на электрические, гидравлические и пневматические. Знать требования и основные показатели, характеризующие работу любого усилителя.

Следует знать, что цифровые устройства систем управления, оперирующие с двоичной информацией, подразделяются на два класса — комбинационные схемы (автоматы без памяти) и последовательностные устройства (автоматы с памятью). Анализ и синтез цифровых устройств производится на основе математического аппарата алгебры логики.

При изучении исполнительных устройств автоматических систем выяснять их назначение, классификацию, принцип действия, достоинства и недостатки.

Вопросы для проверки

1. Какими параметрами характеризуются датчики?

2. Как классифицируются измерительные преобразователи?
3. Назовите виды промежуточных преобразователей автоматических систем.
4. По каким признакам классифицируются вторичные приборы?
5. Набор каких логических элементов обладает функциональной полнотой?

2.10. Автоматическое управление технологическим процессом механослаботки [2], с.259-261; [3], с.149-151; [5], с.286-288, 320-321; [7], с.29-51, 57-96; [8], с.85-98; [9], с.215-232; [10], с.40-45; [11], с.66-69, 271, 289-291, 425-435

Автоматическое управление технологическим оборудованием. Системы управления общим циклом работы оборудования. Системы управления отдельными циклами. Системы аппаратного управления. Системы программного управления. Системы числового программного управления. Позиционные СЧУ. Контурные СЧУ. Принципы программирования СЧУ. Основы построения систем оптимального управления режимами металлообработки. Основы построения адаптивных систем управления металлообработкой.

Методические указания

При изучении вопроса автоматического управления технологическим оборудованием необходимо учитывать, что оно осуществляется путем реализации соответствующего алгоритма, использующего априорную, исходную и текущую информацию. Поэтому классификация СУ удобно провести по информационным признакам, включающим источники и носители информации, количество и структуру потоков информации, вид и методы переработки ее.

Для управления всем технологическим циклом работы оборудования применяют СУ общим циклом. Эти системы в зависимости от степени централизации и вида синхронизации подразделяют на централизованные, децентрализованные и комбинированные. СУ отдельными циклами можно разделить на две группы: системы аппаратного управления и системы программного управления (СПУ). К первой группе относятся системы путевого управления, СУ от кулачков и СУ от копиров. Системы второй группы (СПУ) особенно широкое распространение получили в металлообрабатывающей промышленности. Следует подробнее

изучить также их разновидности, как системы числового программного управления, позиционные и контурные СПУ. При изучении принципов программирования СПУ необходимо четко усвоить этапы составления программы и возможности автоматизации программирования.

При изучении построенных систем оптимального и адаптивного управления необходимо обратить особое внимание на технологические и информационные основы, используемые при постановке задач такого управления режимами металлообработки.

Вопросы для проверки

1. Как классифицируются СУ по информационным признакам?
2. По каким признакам классифицируются СПУ?
3. Нарисуйте структурные схемы разомкнутой и замкнутой СПУ.
4. Какие существуют разновидности позиционных и контурных СПУ?
5. Назовите технологические основы построения СУ режимами металлообработки.

2. II. Надежность элементов автоматических систем [4], с. 67-97; [12], с. 221-235

Основные понятия и определения надежности средств автоматизации. Показатели надежности средств автоматизации. Методы анализа и расчета надежности АСУ. Методы повышения надежности автоматизированных технологических процессов.

Методические указания

При изучении этого раздела надо прежде всего обратить внимание на такие понятия, как надежность, работоспособность, безотказность, долговечность, ремонтпригодность. Знать основные показатели надежности средств автоматизации: вероятность безотказной работы, интенсивность отказов, среднее время безотказной работы и т.д. Уяснить сущность основных инженерных методов анализа и расчета надежности автоматических систем, а также методов повышения их надежности.

Вопросы для проверки

1. Дайте определения понятиям "надежность", "работоспособность", "безотказность", "ремонтпригодность", "долговечность".

2. Назовите основные показатели надежности для ремонтируемых систем.
3. Назовите основные показатели надежности для неремонтируемых систем.
4. Какие существуют методы анализа и расчета надежности автоматических систем?
5. Какие применяются методы повышения надежности автоматизированных технологических процессов и систем их управления?

2.12. Микропроцессоры и микроЭВМ в системах управления автоматизированными технологическими процессами [12], с.200-209; [13], с.7-25, 57-62, 94-100; [14], с.16-38, 94-97

Архитектура микропроцессоров и микроЭВМ. Задачи, решаемые микропроцессорными системами управления. Основные требования, предъявляемые к САУ с микроЭВМ. Режимы использования микроЭВМ в системах управления технологическими процессами. Принципы связи микроЭВМ с объектом управления. Примеры применения микропроцессорных систем управления.

Методические указания

Необходимо разобраться, что понятие архитектуры определяет состав, назначение, логическую организацию и порядок взаимодействия всех функциональных средств, объединенных для решения проблемы определенного вида, характеризует микропроцессор или микроЭВМ в целом, а именно: как они представляются пользователю? Поэтому в понятие архитектуры включают весь комплекс программных и аппаратных средств, с помощью которых выполняются задания пользователя.

Обратить внимание, что микропроцессорные системы, предназначенные для управления технологическими процессами и объектами, имеют свои отличительные признаки и решают определенный класс задач. Этим определяются и основные требования, предъявляемые к САУ с микроЭВМ.

Режимы использования микроЭВМ в системах управления определяются структурой технологического объекта управления и зависят от необходимости выполнения информационных функций, реализации локального управления, выработки задающих воздействий и формирования управляющих воздействий.

Эффективность использования микроВМ зависит от ее способности взаимодействовать с микроцелой частью автоматизированной системы. К микроВМ также подключаются разнообразные внешние устройства. Они отличаются характеристиками, режимами передачи и приема данных. Поэтому для организации обмена данными между внешними устройствами и микроВМ используются различные принципы связи, специфические особенности которых надо знать.

Вопросы для проверки

1. Назовите основные архитектурные элементы микропроцессора и микроВМ.
2. Назовите основные задачи, решаемые микропроцессорными системами управления.
3. Перечислите основные требования, предъявляемые к ЦАУ с микроВМ.
4. Какие существуют режимы использования микроВМ в системах управления технологическими процессами?
5. Перечислите принципы связи микроВМ с объектом управления.

2.13. автоматизированное управление технологическими системами (4), с.36-45, (12), с.11-17, 153-154, 214-215

Автоматизация управления производством. Автоматизированные системы управления предприятием. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. Автоматизированные системы управления ТЭС.

Методические указания

При изучении этого раздела необходимо уяснить специфику различных систем автоматизированного управления, их назначение, цели и функции, структуру и уровни управления, основные формы интеграции и принципы построения.

Вопросы для проверки

1. Сформулируйте основную задачу автоматизированной системы управления производством.
2. Почему автоматизированная система управления производством является иерархичной системой?

3. Назовите основные формы интеграции автоматизированных систем управления.
4. В чем состоит техническое, программное и информационное обеспечение автоматизированной системы управления технологическими процессами?
5. Назовите основные компоненты автоматизированной системы управления ЦУ.

2.14. Содержание [12], с.246-247, 419-419; [15], с.149-151

Целевыми задачами автоматических систем управления технологическими процессами металлообработки.

Методические указания

Обратить внимание на развитие систем ЦУ. Изучить возможные пути построения автоматических систем управления металлообработкой. Также, какие особенности построения этих систем возникают при создании ЦУ.

Вопросы для проверки

1. Назовите основные тенденции развития систем ЦУ.
2. Перечислите возможные пути построения автоматических систем управления технологическими процессами металлообработки.
3. Какие основные технические требования могут предъявляться к системам управления металлорежущих станков?
4. Какими преимуществами обладают системы оптимизации режимов металлообработки?
5. Назовите основные функции адаптивного управления металлорежущими станками в ЦУ.

2.15. Содержание практических занятий

Рекомендуется следующий перечень практических занятий:

1. Схемы автоматизации различного назначения.
2. Построение статических характеристик элементов и систем.
3. Линеаризация, составление и решение уравнений динамики.
4. Оценка качества процессов управления.
5. Основы синтеза линейных САУ.
6. Особенности исследований нелинейных САУ.

3. ЗАДАНИЯ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ

Целью контрольной работы является закрепление соответствующего теоретического материала и приобретение навыков решения и расчета задач по автоматическому управлению. Контрольную работу студент выполняет после самостоятельного изучения этого материала.

3.1. Содержание и объем контрольных работ

Выполнение контрольной работы основано на расчете линейной САУ. Оно предусматривает: 1) составление математического описания систем (уравнения отдельных звеньев, дифференциальных и операторное уравнения системы); 2) построение структурной схемы системы; 3) преобразование структурной схемы; 4) определение передаточных функций разомкнутых и замкнутых систем по заданному воздействию и возмущению; 5) построение частотных характеристик системы (АФЧХ, АЧХ и ФЧХ); 6) анализ устойчивости системы по заданным критериям.

Контрольная работа выполняется в виде пояснительной записки на 10-15 страницах рукописного текста, включая таблицы, формулы, графики.

Контрольная работа должна включать в указанной последовательности титульный лист, оглавление, основную часть работы, список литературы, приложения.

Контрольная работа должна быть оформлена в соответствии с требованиями к текстовым и графическим документам по ГОСТам. Иллюстрации (чертежи, схемы, графики и др.) размещаются после первого упоминания их в тексте. Ссылки на литературные источники приводятся в окобках с указанием номера по списку литературы и соответствующих страниц.

3.2. Варианты заданий и исходные данные к выполнению контрольной работы

В качестве исходных данных студенту в соответствии с вариантом задания даны: функциональная схема САУ, система дифференциальных уравнений отдельных элементов САУ и коэффициенты этих исходных дифференциальных уравнений.

Таблица 3.1

Исходные данные к расчету систем автоматического управления

№ варианта	Коэффициенты исходных дифференциальных уравнений											Критерии устойчивости
	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	b_0	b_1	b_2	b_3	K	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	-	1	-	0,4	-	0,04	160	300	-	-	1	Найквиста, Гурвица
2	-	-	1	0,02	0,05	-	10	1	7	2,05	1	Найквиста, Рауса
3	-	1	0,51	0,005	-	-	80	2,7	-	-	1	Найквиста, Михайлова
4	-	-	1	0,4	0,05	0,001	20	6	-	-	3	Найквиста, Гурвица
5	10	1	0,8	0,5	0,1	-	25	-	-	-	4	Найквиста, Рауса
6	-	1	0,13	0,4	-	-	40	40	20	-	2	Найквиста Михайлова
7	-	-	-	0,25	0,03	0,001	60	10	1	-	1	Найквиста, Гурвица
8	1	6,15	5,908	0,13	0,025	-	40	30	5	-	5	Найквиста, Рауса
9	1	0,9	0,24	0,02	-	-	90	7,2	-	-	1	Найквиста, Михайлова
10	-	-	1	0,25	0,03	0,001	60	10	-	-	1	Найквиста, Гурвица
11	-	-	10	1	0,2	-	25	25	-	-	2	Найквиста, Рауса
12	-	1	2	0,8	-	-	20	2	0,2	-	3	Найквиста, Михайлова
13	-	-	-	0,5	0,02	0,001	10	2,5	1	-	4	Найквиста, Гурвица
14	-	1	5	0,5	0,01	-	70	70	17,5	-	1	Найквиста, Рауса
15	1	0,2	0,1	0,01	-	-	16	-	-	-	5	Найквиста, Михайлова
16	-	-	4	0,5	0,02	0,001	40	10	-	-	1	Найквиста, Гурвица
17	-	2,99	3,5	3,64	1	-	1	2,24	-	-	1	Найквиста, Рауса
18	1	0,5	0,2	0,1	-	-	10	3	-	-	1	Найквиста, Макарова
19	-	10	4	0,5	0,02	0,001	10	-	-	-	4	Найквиста, Гурвица
20	-	1	0,4	0,03	0,001	-	50	0,5	-	-	1	Найквиста, Рауса
21	1	2	0,5	0,06	-	-	9	-	-	-	1	Найквиста, Михайлова
22	20	10	4	0,5	0,02	0,001	10	-	-	-	2	Найквиста, Гурвица
23	-	1	0,4	0,03	0,001	-	25	0,25	-	-	2	Найквиста, Рауса
24	100	8	0,17	0,001	-	-	80	-	-	-	5	Найквиста Михайлова
25	-	-	-	0,5	0,02	0,001	40	10	4	0,5	1	Найквиста, Гурвица
26	1	0,5	1	2	-	-	50	-	-	-	4	Найквиста, Рауса
27	-	2	0,5	0,04	-	-	5	-	-	-	2	Найквиста Михайлова
28	-	-	-	0,2	0,02	0,001	40	10	4	0,3	1	Найквиста, Гурвица
29	1	9	120	500	-	-	50	-	-	-	1	Найквиста, Рауса
30	-	-	0,5	0,04	-	-	5	1	-	-	2	Найквиста, Михайлова
31	40	10	4	-	0,02	0,001	-	-	-	0,5	1	Найквиста, Гурвица
32	-	-	1	0,05	-	-	10	1,5	-	-	5	Найквиста, Рауса
33	-	-	-	1	0,04	-	50	20	50	-	4	Найквиста Михайлова
34	40	10	-	-	0,02	0,001	-	-	4	0,5	1	Найквиста, Гурвица
35	-	-	1	0,05	-	-	40	6	-	-	5	Найквиста, Рауса
36	1	1,1	0,33	0,025	-	-	-	-	2	-	2	Найквиста, Михайлова
37	-	-	-	-	0,02	0,001	40	10	4	0,5	1	Найквиста, Гурвица
38	1	2	-	4	-	-	0,5	0,25	-	-	2	Найквиста, Рауса
39	-	-10	4	1	-	-	40	15	-	-	3	Найквиста, Михайлова
40	-	-	0,4	0,05	0,001	-	4	0,2	-	-	5	Найквиста, Гурвица

Продолжение табл. 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
41	1	2	—	0,25	—	—	1	0,5	—	—	1	Найхвиста Рауса
42	-1	0,3	0,6	0,1	—	—	2,5	—	—	—	4	Найхвиста Михайлова
43	20	5	2	0,1	0,02	0,001	20	5	2	0,4	1	Найхвиста Гурвица
44	1	1	—	2	—	—	0,5	0,6	—	—	2	Найхвиста Рауса
45	—	—	1	0,5	—	—	20	—	—	—	5	Найхвиста Михайлова
46	10	6	0,6	0,04	0,001	—	10	1	—	—	4	Найхвиста Гурвица
47	1	2	—	2	—	—	1	5	—	—	1	Найхвиста Рауса
48	1	1	0,5	0,04	—	—	3	0,33	—	—	3	Найхвиста Михайлова
49	80	0,5	0,3	0,05	0,001	—	20	0,5	0,1	—	1	Найхвиста Гурвица
50	—	25	20	8	2	—	50	—	—	—	3	Найхвиста Рауса
51	—	1	0,11	0,001	—	—	50	—	—	—	2	Найхвиста Михайлова
52	—	—	1	2	1	—	20	10	—	—	1	Найхвиста Гурвица
53	—	—	20	1	0,5	—	10	10	—	—	5	Найхвиста Рауса
54	—	-10	0,4	0,008	—	—	100	10	—	—	3	Найхвиста Михайлова
55	100	10	1	0,9	0,5	—	100	—	—	—	4	Найхвиста Гурвица
56	1	3	2	1	—	—	20	5	—	—	1	Найхвиста Рауса
57	1	0,35	0,035	0,001	—	—	1125	—	—	—	1	Найхвиста Михайлова
58	120	1	0,5	0,8	1	—	—	0,5	2,5	0,03	2	Найхвиста Гурвица
59	—	—	1	5	—	—	1	10	—	—	1	Найхвиста Рауса
60	—	1	0,205	0,001	—	—	41	—	—	—	5	Найхвиста Михайлова
61	50	0,2	0,03	0,1	1	—	—	0,5	0,05	1	2	Найхвиста Гурвица
62	1	1	80	500	—	—	12,5	—	—	—	4	Найхвиста Рауса
63	—	1	0,10	0,006	—	—	35	—	—	—	1	Найхвиста Михайлова
64	1	2	0,2	0,1	0,02	—	300	—	—	—	2	Найхвиста Гурвица
65	1	0,1	0,04	0,004	—	—	20	—	—	—	1	Найхвиста Рауса
66	1	0,66	0,026	0,003	—	—	2,5	—	—	—	4	Найхвиста Михайлова
67	—	1	0,4	0,03	0,003	—	20	0,2	—	—	3	Найхвиста Гурвица
68	—	1	0,19	0,006	—	—	5,1	—	—	—	1	Найхвиста Рауса
69	1	2,6	1,25	0,1	—	—	10,5	—	—	—	3	Найхвиста Михайлова
70	20	10	4	0,5	0,02	0,001	4	—	—	—	5	Найхвиста Гурвица
71	10	4,8	0,88	0,008	—	—	12	—	—	—	1	Найхвиста Рауса
72	1	5	1	0,25	0,02	—	11	—	—	—	1	Найхвиста Михайлова
73	—	—	—	0,5	0,02	0,001	40	10	4	—	1	Найхвиста Гурвица
74	—	—	0,4	0,05	0,001	—	20	1	—	—	1	Найхвиста Рауса
75	1	30	4,2	0,85	0,004	—	330	—	—	—	1	Найхвиста Михайлова

конечное число линейных динамических звеньев не выше второго порядка и какое-то количество нелинейных элементов. Линейные динамические звенья описываются обыкновенными дифференциальными уравнениями. Характеристики нелинейных элементов стремятся линеаризовать, т.е. заменяют нелинейные уравнения элементов некоторыми приближенными линейными уравнениями, решения которых достаточно близки к решениям исходных нелинейных уравнений.

Математическое описание САУ можно считать законченным, если получены дифференциальные и алгебраические уравнения для всех элементов и связей в количестве, необходимом для определения неизвестных переменных величин.

Пример 1. Определить уравнения отдельных звеньев САУ, если заданы коэффициенты этих уравнений: $a_0=50$; $a_1=11$; $a_2=0,01$; $b_0=50$; $b_1=40$; $b_2=0,01$; $K=1$.

Подставив значения коэффициентов в систему уравнений (3.1), получим

$$\left. \begin{aligned} U_y(t) &= U_2(t) - U_{oc}(t) - a_1 y_1(t) - a_0 y_0(t) = U_2(t) - U_{oc}(t) - 11y_1(t) - 50y_0(t); \\ U_2(t) &= U_y(t) / a_2 = 100 U_y(t); \\ y_1(t) &= \int_0^t y_2(t) dt; \\ y_0(t) &= \int_0^t y_1(t) dt; \\ U(t) &= b_0 y_0(t) + b_1 y_1(t) + b_2 y_2(t) = 50y_0(t) + 40y_1(t) + 0,01y_2(t) + F(t); \\ U_{oc}(t) &= KY(t) = Y(t). \end{aligned} \right\}$$

Общее дифференциальное уравнение системы n -го порядка имеет вид

$$\begin{aligned} &A_n \frac{d^n y(t)}{dt^n} + A_{n-1} \frac{d^{n-1} y(t)}{dt^{n-1}} + \dots + A_1 \frac{dy(t)}{dt} + A_0 y(t) = \\ &= B_m \frac{d^m U_2(t)}{dt^m} + B_{m-1} \frac{d^{m-1} U_2(t)}{dt^{m-1}} + \dots + B_1 \frac{dU_2(t)}{dt} + B_0 U_2(t) + \\ &+ C_m \frac{d^m F(t)}{dt^m} + C_{m-1} \frac{d^{m-1} F(t)}{dt^{m-1}} + \dots + C_1 \frac{dF(t)}{dt} + C_0 F(t), \end{aligned}$$

где A_n, \dots, A_0 ; B_m, \dots, B_0 ; C_m, \dots, C_0 - коэффициенты уравнения, выражающиеся через параметры системы и являющиеся вещественными числами ($n \geq m$);

$Y(t)$ - выходная величина системы (в отклонениях от состояния равновесия);

$U_3(t)$ – заданное воздействие на входе системы (в отклонениях от состояния равновесия);

$F(t)$ – возмущающее раздействие (в отклонениях от состояния равновесия).

Это уравнение может быть получено по выражениям, описывающим каждый элемент и обратную связь системы и их совместного решения относительно входного и выходного сигнала всей рассматриваемой системы. Запись уравнений для элементов и обратных связей производится по функциональной схеме САУ последовательно для всех частей.

Пример 2. Составить дифференциальное уравнение САУ 2-го порядка по рис. 3.1, если уравнения (3.1) ее отдельных звеньев в отклонениях от состояния равновесия равны:

1). Уравнение входной цепи

$$U_y(t) = U_3(t) - U_{oc}(t) - \alpha_1 y_1(t) - \alpha_0 y_0(t); \quad (4.1)$$

2). Уравнения связи входе и выхода промежуточных звеньев

$$y_2(t) = U_y(t) / \alpha_2; \quad (4.2)$$

$$y_1(t) = \int_0^t y_2(t) dt; \quad (4.3)$$

$$y_0(t) = \int_0^t y_1(t) dt; \quad (4.4)$$

3). Уравнение выходной цепи

$$y(t) = \beta_0 y_0(t) + \beta_1 y_1(t) + \beta_2 y_2(t) + F(t); \quad (4.5)$$

4). Уравнение цепи обратной связи

$$U_{oc}(t) = \kappa y(t). \quad (4.6)$$

Решив совместно эти уравнения относительно выходной $y(t)$ и входных $U_3(t)$, $F(t)$ величин, получим дифференциальное уравнение системы в виде

$$\begin{aligned} & (\alpha_2 + \beta_1 \kappa) \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + (\alpha_1 + \beta_1 \kappa) \frac{d y(t)}{dt} + (\alpha_0 + \beta_0 \kappa) y(t) = \beta_2 \frac{d^2 U_3(t)}{dt^2} + \\ & + \beta_1 \frac{d U_3(t)}{dt} + \beta_0 U_3(t) + \alpha_2 \frac{d^2 F(t)}{dt^2} + \alpha_1 \frac{d F(t)}{dt} + \alpha_0 F(t). \end{aligned} \quad (4.7)$$

Во многих случаях при анализе и синтезе САУ удобнее вместо дифференциального уравнения использовать операторное уравнение, которое выражает зависимость операторного изображения выходной величины системы от операторных изображений входных воздействий. При этом связь между изображением и оригиналом искомой функции выражается прямым и обратным преобразованиями Лапласа. Оператор-

ное уравнение можно получить путем прямого преобразования по Лапласу дифференциального уравнения, описывающего поведение системы.

Операторные уравнения составляются с учетом начальных условий. При этом они могут составляться как для полных значений переменных так и для отклонений переменных и ее производных от начальных значений. Если операторное уравнение записано в отклонениях, то во всех случаях, когда возникновение процесса предшествовало установившемуся состоянию системы, начальные условия будут нулевыми.

Пример 3. Получить операторное уравнение САУ, если процесс в ней описывается дифференциальным уравнением (4.7), составленным в отклонениях переменных от состояния равновесия.

Выполнив прямое преобразование Лапласа для дифференциального уравнения системы при нулевых начальных условиях, получим

$$[(\alpha_1 + \beta_2 k)P^2 + (\alpha_2 + \beta_1 k)P + (\alpha_0 + \beta_0 k)]Y(P) - (\beta_1 P^2 + \beta_0)U_1(P) + (\alpha_2 P^2 + \alpha_1 P + \alpha_0)F(P)$$

Для количественного описания и качественной оценки свойств динамических звеньев и САУ в процессе их работы в зависимости от постановки задачи, применяются следующие взаимно связанные функции и характеристики: переходная, импульсная и передаточная функции, а также частотные характеристики.

Переходная функция $h(t)$ описывает изменение выходной величины объекта, динамического звена или системы при скачкообразном изменении входной величины на единицу $\Gamma(t)$ и при нулевых начальных условиях.

Импульсная функция $K(t)$ определяет изменение выходной величины объекта, динамического звена или системы при подаче на вход единичного импульса и при нулевых начальных условиях.

Переходная и импульсная функции относятся к временным функциям.

Передаточная функция $W(P)$ - это отношение изображения по Лапласу выходной величины $Y(P)$ объекта, динамического звена или системы к изображению по Лапласу входной величины $X(P)$ при нулевых начальных условиях.

Передаточная функция является правильной рациональной дробью вида

$$W(P) = Y(P)/X(P) = (\beta_m P^m + \beta_{m-1} P^{m-1} + \dots + \beta_1 P + \beta_0) / (\alpha_n P^n + \alpha_{n-1} P^{n-1} + \dots + \alpha_1 P + \alpha_0),$$

где β_i, α_j - коэффициенты, выражающиеся через параметры объекта, динамического звена или системы и являющиеся вещественными числами ($n \geq m$).

При оценке динамических свойств звеньев и систем широкое распространение получили частотные характеристики. Они определяют реакцию объекта управления, динамического звена или САУ на гармоническое воздействие на входе при изменении частоты ω от 0 до ∞ .

В теории автоматического управления используют комплексную амплитудно-фазовую частотную характеристику (АФЧХ), которая определяет изменение соотношения между амплитудами Y_m , X_m и фазами φ_y , φ_x выходной и входной величин объекта управления, динамического звена или системы в установившемся режиме при гармоническом воздействии на входе

$$K(j\omega) = Y(j\omega)/X(j\omega) = Y_m e^{i(\omega t + \varphi_y)} / X_m e^{i(\omega t + \varphi_x)} = A(\omega) e^{i\varphi(\omega)},$$

где $Y_m e^{i(\omega t + \varphi_y)}$, $X_m e^{i(\omega t + \varphi_x)}$ — соответственно выходная и входная величины в комплексной показательной форме записи;

$A(\omega) = Y_m/X_m$ — амплитудно-частотная характеристика (АЧХ);

$\varphi(\omega) = \varphi_y - \varphi_x$ — фазо-частотная характеристика (ФЧХ).

АФЧХ $K(j\omega)$ можно рассматривать как одну из форм записи передаточной функции $W(P)$ для случая синусоидального воздействия на входе. Тогда для получения $K(j\omega)$ из $W(P)$ необходимо заменить P на $j\omega$.

Выражение для АФЧХ можно представить в комплексной форме записи: $K(j\omega) = U(\omega) + jV(\omega)$, где $U(\omega)$ и $V(\omega)$ — соответственно вещественная и мнимая частотные характеристики.

$A(\omega)$ и $\varphi(\omega)$ — это соответственно модуль и аргумент АФЧХ, где $A(\omega) = |K(j\omega)| = \sqrt{U^2(\omega) + V^2(\omega)}$; $\varphi(\omega) = \arg K(j\omega) = \arctg V(\omega)/U(\omega)$.

Функции $h(t)$, $K(t)$, $W(P)$, $K(j\omega)$ связаны между собой. Каждая из функций может быть получена непосредственно из дифференциального уравнения объекта управления, динамического звена или САУ.

4.2. Построение структурной схемы САУ

САУ может быть представлена в виде схемы, состоящей из отдельных, определенным образом связанных между собой звеньев, динамические свойства которых определяются соответствующими пере-

даточными функциями. Такая схема по существу является математической структурной равильной физической системы и называется структурной схемой. Она представляет собой графическое изображение САУ, отображающее систему дифференциальных уравнений, описывающих процессы управления в этой САУ. Динамические звенья, входящие в ее состав, образуют основную цепь воздействия и цепи обратных связей. Звенья соединяются между собой линиями связей, стрелки которых показывают направление действия сигнала. Структурные схемы содержат элементы сравнения и точки разветвления сигнала. Линии связи, отходящие от таких точек, несут одни и те же сигналы. Условные изображения элементов структурных схем показаны на рис. 4.1.

При составлении структурной схемы должны выполняться следующие правила: 1) структурная схема должна обязательно иметь входные и выходные внешние связи, задаваемые из физических особенностей; 2) каждый входной сигнал, являющийся независимой функцией времени, должен иметь только вход в структурную схему; 3) выходной сигнал может замыкаться внутри структурной схемы и иметь выход в виде ответвления (система, замкнутая по выходному сигналу) или не замыкаться внутри структурной схемы (система разомкнута по входному сигналу); 4) все внутренние связи, определяемые системой уравнений, должны обязательно иметь входы и выходы.

Последовательность построения структурной схемы по заданной системе дифференциальных уравнений ее отдельных элементов следующая: 1) система дифференциальных уравнений записывается в операторной форме; 2) для каждого уравнения системы условно выбирают входная и выходная величины; 3) каждое уравнение решается относительно выходной величины или члена, содержащего ее старшую производную; 4) строятся графические изображения каждого из дифференциальных уравнений; 5) строится общая структурная схема как совокупность графических изображений каждого дифференциального уравнения.

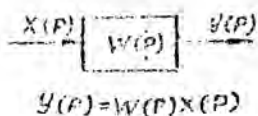
Пример 4. Построить структурную схему САУ, если ее движение может быть описано системой уравнений (4.1) - (4.6) (пример 2).

Решение:

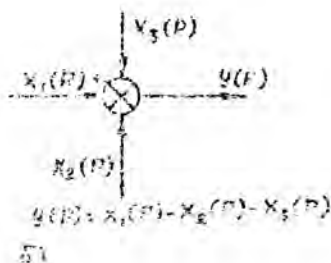
1). Уравнения (4.1) - (4.6) в операторной форме примут вид:

$$U_y(p) = U_b(p) - U_{oc} - a_1 y_1(p) - a_2 y_2(p); \quad (4.8)$$

$$y_2(p) = U_y(p) / a_2; \quad (4.9)$$



а)

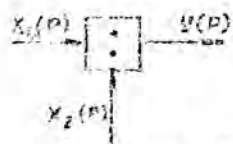


б)



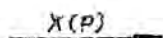
$$Y(P) = X_1(P)X_2(P)$$

в)

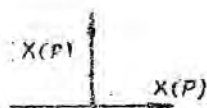


$$Y(P) = X_1(P) : X_2(P)$$

г)



д)



е)

Рис. 4.1. Условные обозначения элементов структурных схем: а - динамическое звено; б - элемент сравнения; в - мультипликаторное устройство; г - делительное устройство; д - линии связи; е - точки разветвления сигнала

$$U_1(P) = U_2(P)/P; \quad (4.10)$$

$$U_0(P) = U_1(P)/P; \quad (4.11)$$

$$U(P) = \delta_0 U_0(P) + \delta_1 U_1(P) + \delta_2 U_2(P) + F(P); \quad (4.12)$$

$$U_{sc}(P) = K U(P). \quad (4.13)$$

2). Входными величинами уравнений (4.8) - (4.13) являются, соответственно, $U_3(P)$, $U_y(P)$, $U_2(P)$, $U_1(P)$, $U_0(P)$, $U(P)$, а в качестве выходных примем $U_y(P)$, $U_2(P)$, $U_1(P)$, $U_0(P)$, $U(P)$, $U_{sc}(P)$;

3). Решать уравнения (4.8) - (4.13) относительно выходящих выходных величин не требуется, т.к. их выходные уравнения (4.1) - (4.6) уже записаны относительно этих величин и никаких преобразований в данном случае не требуется.

4). Строим схемы, соответствующие уравнениям (4.8) - рис. 4.2 а; уравнению (4.9) - рис. 4.2 б; уравнению (4.10) - рис. 4.2 в; уравнению (4.11) - рис. 4.2 г; уравнению (4.12) - рис. 4.2 д; уравнению (4.13) - рис. 4.2 е.

5). Объединяем рис. 4.2 а, б, в, г, д, е, замкнув обратные связи и получаем полную структурную схему САУ (рис. 4.3).

Следует отметить, что задача построения структурных схем САУ может решаться неоднозначно. Можно получить несколько вариантов графического изображения, т.к. уравнения (3.1) отдельных звеньев САУ в общем случае могут быть записаны различным образом, но после соответствующих преобразований все изображения оказываются эквивалентными.

4.3. Преобразование структурных схем

Для упрощения структурных схем, получения передаточных функций разомкнутых и замкнутых систем по различным воздействиям применяются структурные преобразования. Они основаны на принципах суперпозиции и поэтому применимы только к линейным системам.

Различные варианты структурной схемы обладают одинаковыми передаточными функциями, т.е. являются динамически эквивалентными, поскольку передаточная функция системы в целом не изменяется и не зависит от того, на сколько и какие элементарные звенья разбита система и какие структурные связи имеются между звеньями.

Основные правила эквивалентного преобразования структурных схем приведены в табл. 4.1.

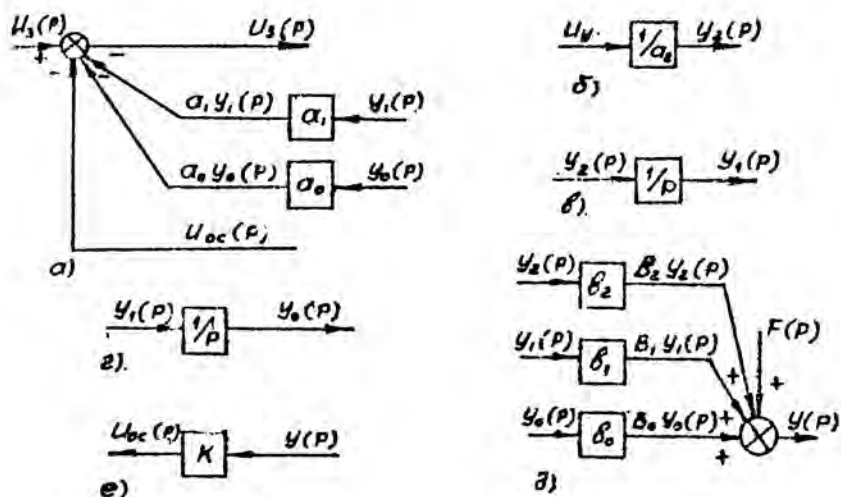


Рис. 4.2. Структурные схемы соответствующие:
 а - уравнению (4.8); б - уравнению (4.9); в - уравнению (4.10); г -
 уравнению (4.11); д - уравнению (4.12); е - уравнению (4.13)

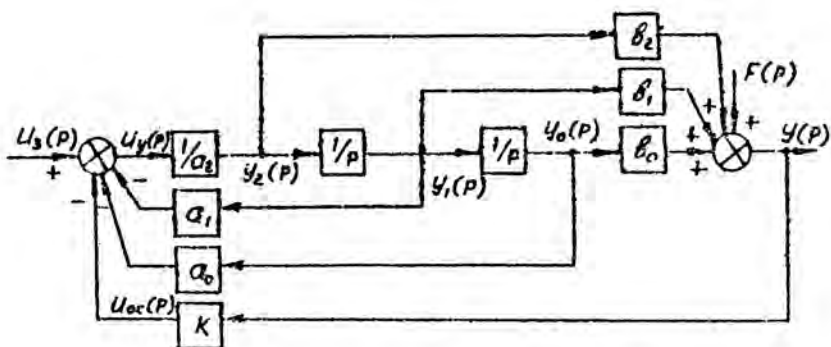


Рис. 4.3. Структурная схема САУ к примеру 3

Пример 5. Преобразовать структурную схему многоконтурной САУ (рис. 4.3) к расчетному виду.

Решение:

1). В исходной схеме рис. 4.3 после переноса линии связи $Y_2(P)$ через звено с передаточной функцией I/P на его выход (по п. 10 табл. 4.1) и замены внутреннего замкнутого контура, содержащего звенья I/a_2 , I/P и a_1 , одним эквивалентным звеном согласно пп. 1, 3 табл. 4.1) с передаточной функцией

$$W_1(P) = (I/a_2)(I/P) / [1 + (I/a_2)(I/P)a_1] = I / (a_2 P + a_1)$$

получаем схему рис. 4.4 а;

2). Применяя пп. 1, 2 табл. 4.1, объединяем последовательно P , δ_2 и параллельно δ_1 соединенные звенья в эквивалентное звено с передаточной функцией $W_2(P) = \delta_2 P + \delta_1$ (рис. 4.4 б);

3). После переноса линии связи $Y_1(P)$ через звено с передаточной функцией I/P на его выход (по п. 10 табл. 4.1) и объединения последовательно P , $W_2(P)$ и параллельно δ_0 соединенных звеньев (по пп. 1, 2 табл. 4.1) одним звеном с передаточной функцией $W_3(P) = \delta_2 P^2 + \delta_1 P + \delta_0$, заменяем внутренний замкнутый контур, содержащий звенья $W_1(P)$, I/P и a_0 , эквивалентным звеном (согласно пп. 1, 3 табл. 4.1) с передаточной функцией

$$W_4(P) = W_1(P)(I/P) / [1 + W_1(P)(I/P)a_0] = I / (a_2 P^2 + a_1 P + a_0)$$

и получаем схему рис. 4.4 в. Эта схема и является расчетной.



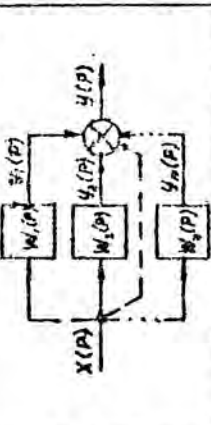

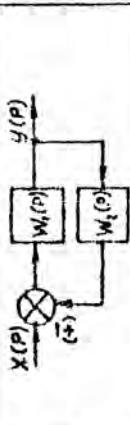

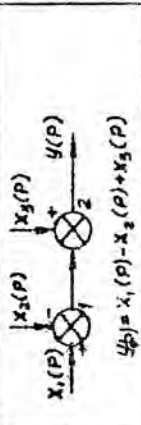
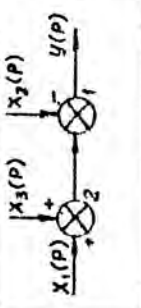
4.4. Определение передаточных функций разомкнутой и замкнутых систем по заданному воздействию и возмущению

Структурные схемы значительно упрощают задачу нахождения передаточных функций системы.

Передаточные функции составляются по отношению к одному из воздействий, прикладываемому к системе при $t = 0$. Другие воздействия, если они существовали при $t < 0$, пренебрежений не получают, что равносильно их отсутствию в момент $t \geq 0$. Поэтому при составлении передаточной функции по заданному либо возмущающему воздействию одно из них приравнивается нулю.

Передаточная функция $W(P)$ разомкнутой системы характеризует зависимость выходной величины $Y(P)$ системы от задающего

Правила преобразования структурных схем САУ

№ строки	Исходная схема	Преобразованная схема	Формула
1			$W(p) = \prod_{i=1}^n W_i(p)$
2			$W(p) = \sum_{i=1}^n W_i(p)$
3			$W(p) = \frac{W_1(p)}{1 - W_1(p)W_2(p)}$
4			$Y(p) = X_1(p) + X_2(p) - X_3(p)$

Продолжение табл. 4.1

	2	3	4	5	
5	Перенос звена вперед через точку в цепи связи				$Y(p) = X_1(p) - X_2(p)$
6	Перенос звена вперед через точку сравнения			$Y(p) = X_1(p) - X_2(p)$ $X_1(p) = Y(p) + X_2(p)$	
7	Перенос звена вперед через точку в цепи связи вправо на одно звено			$Y(p) = [X_1(p) + \frac{1}{W_1(p)} F(p)] W_2(p) - W_2(p)$	
8	Перенос звена вперед через точку в цепи связи влево на одно звено			$Y(p) = W_1(p) W_2(p) - X_1(p) + W_2(p) F(p)$	
9	Перенос звена вперед через звено на одно звено			$X_2(p) = W_1(p) X_1(p)$	
10	Перенос звена вперед через звено на два звена			$X_2(p) = \frac{1}{W_2(p)} Y(p)$	

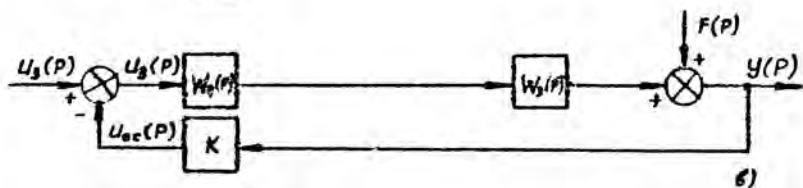
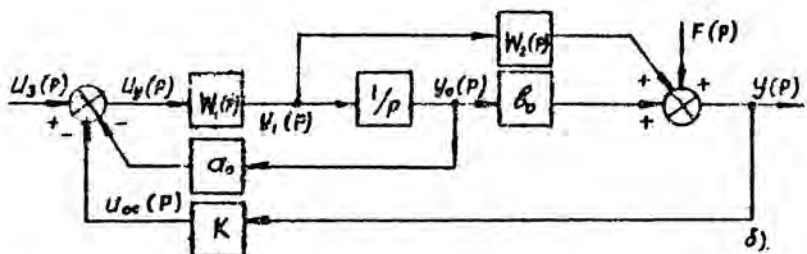
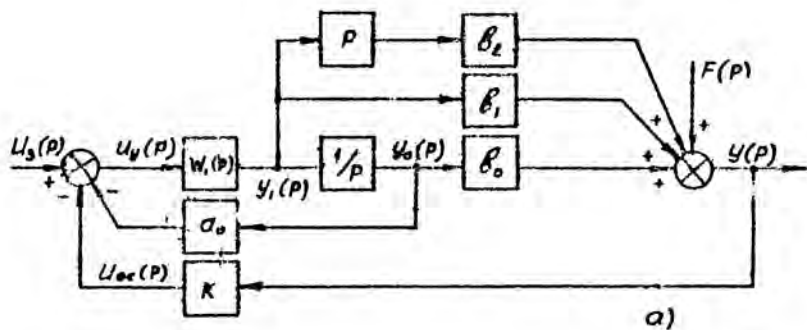


Рис. 4.4. Преобразование структурной схемы САУ к расчетному виду (к примеру 5)

воздействием $W_3(P)$ при разомкнутой обратной связи. При этом величину $U_3(P)$ понимаем как отклонение задающего воздействия от его первоначального значения, соответствующего установившемуся состоянию системы.

Передаточная функция $W_2(P)$ замкнутой системы, определяющая зависимость выходной величины $Y(P)$ системы от задающего воздействия $U_3(P)$, является основной передаточной функцией системы и называется передаточной функцией САУ по задающему воздействию. Она характеризует динамические свойства системы при заданных воздействиях.

Передаточная функция $W_F(P)$ замкнутой системы, определяющая зависимость выходной величины $Y(P)$ системы от возмущающего воздействия $F(P)$ на соответствующем входе, называется передаточной функцией САУ по возмущению и характеризует ее динамические свойства при таких воздействиях.

Оперативное уравнение системы можно представить в виде выражения, связывающего изображение ее выходной величины с изображениями соответствующих воздействий. Для линейной САУ изображение по Лапласу выходной величины

$$Y(P) = U_3(P) \cdot \sum_{i=1}^n Y_{Fi}(P),$$

где $Y_3(P)$ — изображение составляющей выходной величины, обусловленной задающим воздействием $U_3(P)$;

$Y_{Fi}(P)$ — изображения составляющих выходной величины, обусловленных возмущениями $F_i(P)$.

В свою очередь

$$U_3(P) = W_3(P) U_3(P) \quad \text{и} \quad Y_{Fi} = W_{Fi}(P) F_i(P).$$

Тогда получаем

$$Y(P) = W_3(P) U_3(P) + \sum_{i=1}^n W_{Fi}(P) F_i(P).$$

Выражения для передаточных функций по задающему и возмущающему воздействию можно получить из операторного уравнения или непосредственно из структурной схемы САУ.

П р и м е р 6. Определить передаточные функции системы, если ее операторное уравнение имеет вид (пример 3):

$$[(\alpha_2 + \beta_2 k)P^2 + (\alpha_1 + \beta_2 k)P + (\alpha_0 + \beta_0 k)]Y(P) = (\beta_2 P^2 + \beta_1 P + \beta_0)U_3(P) + (\alpha_2 P^2 + \alpha_1 P + \alpha_0)F(P).$$

Решение:

1). Полагая в операторном уравнении возмущающее воздействие $F(P) = 0$, получаем передаточную функцию системы по задающему воздействию

$$W_3(P) = Y(P)/U_3(P) = (\beta_2 P^2 + \beta_1 P + \beta_0) / [(a_2 + \beta_2 K)P^2 + (a_1 + \beta_1 K)P + (a_0 + \beta_0 K)];$$

2). Если подложить задающее воздействие $U_3(P) = 0$, то найдем передаточную функцию системы по возмущающему воздействию

$$W_4(P) = Y(P)/F(P) = (a_2 P^2 + a_1 P + a_0) / [(a_2 + \beta_2 K)P^2 + (a_1 + \beta_1 K)P + (a_0 + \beta_0 K)].$$

Пример 7. Определить передаточные функции системы, структурная схема которой приведена на рис. 4.4 в.

Решение:

1). Найдем передаточную функцию разомкнутой системы при отсутствии возмущений

$$W(P) = W_4(P)W_3(P)K = (\beta_2 P^2 + \beta_1 P + \beta_0)K / (a_2 P^2 + a_1 P + a_0).$$

При этом структурная схема примет вид, показанный на рис. 4.5 а ;

2). Применяя изложенные выше правила преобразования структурных схем, получим передаточную функцию замкнутой системы по задающему воздействию при $F(P) = c$:

$$W_0(P) = Y(P)/U_3(P) = W_4(P)W_3(P) / [1 + W_4(P)W_3(P)K] = \\ = W_4(P)W_3(P) / [1 + W(P)] = (\beta_2 P^2 + \beta_1 P + \beta_0) / [(a_2 + \beta_2 K)P^2 + (a_1 + \beta_1 K)P + (a_0 + \beta_0 K)].$$

Структурная схема для этого случая показана на рис. 4.5 б ;

3). Полагая $U_3(P) = 0$ и проводя необходимые преобразования структурной схемы (рис. 4.5 в), получаем передаточную функцию замкнутой системы по возмущению: $W_P(P) = Y(P)/F(P) =$

$$= 1 / [1 + W_4(P)W_3(P)K] = 1 / [1 + W(P)] = \\ = (a_2 P^2 + a_1 P + a_0) / [a_2 P^2 + a_1 P + a_0 + (\beta_2 P^2 + \beta_1 P + \beta_0)K] = \\ = (a_2 P^2 + a_1 P + a_0) / [(a_2 + \beta_2 K)P^2 + (a_1 + \beta_1 K)P + (a_0 + \beta_0 K)].$$

Следует отметить, что полученные непосредственно из структурной схемы (пример 7) передаточные функции системы при задающем и возмущающем воздействиях совпадают с результатом определения их из операторного уравнения (пример 6).

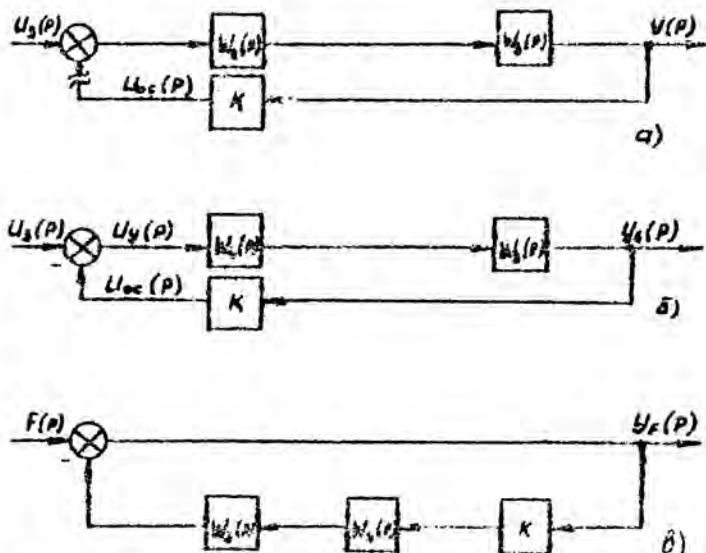


Рис. 4.5. Структурные схемы разомкнутой (а) и замкнутой САУ при вводимом (б) и возмущающем (в) воздействиях (к примеру ?)

4.5. Расчет и построение частотных характеристик систем

Для описания динамических свойств САУ широко применяют частотные характеристики. АФЧХ, АЧХ и ФЧХ САУ в разомкнутом и замкнутом состоянии могут быть построены на основании соответствующих передаточных функций систем. Общая форма записи передаточной функции САУ может быть представлена в виде

$$W(P) = \frac{\beta_m P^m + \beta_{m-1} P^{m-1} + \dots + \beta_1 P + \beta_0}{\alpha_n P^n + \alpha_{n-1} P^{n-1} + \dots + \alpha_1 P + \alpha_0} \cdot \frac{E(P)}{D(P)}$$

Подставив в полученное выражение $P = j\omega$, найдем, что $E(j\omega) = B(\omega) + jC(\omega)$; $D(j\omega) = M(\omega) + jN(\omega)$. Тогда АФЧХ

$$K(j\omega) = [B(\omega) + jC(\omega)] / [M(\omega) + jN(\omega)] = U(\omega) + jV(\omega),$$

где

$$U(\omega) = \frac{B(\omega)M(\omega) + C(\omega)N(\omega)}{M^2(\omega) + N^2(\omega)}; \quad V(\omega) = \frac{C(\omega)M(\omega) - B(\omega)N(\omega)}{M^2(\omega) + N^2(\omega)}$$

С учетом этих зависимостей АЧХ системы

$$A(\omega) = \sqrt{U^2(\omega) + V^2(\omega)} = \sqrt{[B^2(\omega) + C^2(\omega)] / [M^2(\omega) + N^2(\omega)]}.$$

ФЧХ системы примет вид

$$\varphi(\omega) = \arctg \frac{V(\omega)}{U(\omega)} = \arctg \frac{C(\omega)M(\omega) - B(\omega)N(\omega)}{B(\omega)M(\omega) + C(\omega)N(\omega)}$$

Задаваясь различными значениями ω и пользуясь этими формулами, можно построить АФЧХ, АЧХ и ФЧХ системы.

Пример 8. Построить АФЧХ, АЧХ и ФЧХ САУ, если ее передаточная функция $W(p) = (250p + 1000) / (0,05p^3 + 10,055p^2 + 11,005p + 1)$.

Решение:

1). Подставив в заданное выражение $p = j\omega$, найдем $B(\omega) = 1000$; $C(\omega) = 250\omega$; $M(\omega) = 1 - 10,055\omega^2$; $N(\omega) = 11,005\omega - 0,05\omega^3$;

2). Задаваясь значениями частоты ω , проведем расчеты, результаты которых представлены в табл. 4.2, а характеристики системы показаны на рис. 4.6.

Т а б л и ц а 4.2

Расчетные данные для построения частотных характеристик САУ

$\omega, \text{с}^{-1}$	$u(\omega)$	$v(\omega)$	$A(\omega)$	$\varphi(\omega), \text{град}$
0	1000	0	1000	0
0,01	991,637	-106,487	997,3	-6,13
0,05	783,434	-429,373	893,4	-28,73
...
5 0	-0,145	-0,464	0,98	-107,35
100	-0,106	-0,197	0,22	-118,26
1000	-0,005	-0,001	0,01	-168,80
	0	0	0	-180

АФЧХ разомкнутой САУ представляет собой кривую, описываемую концом вектора $K(j\omega)$ на комплексной плоскости в отрицательном направлении (по часовой стрелке) при изменении ω от 0 до ∞ . Строится характеристика в координатах $u(\omega), jv(\omega)$.

В случае статической системы ($a_0 \neq 0$) АФЧХ при $\omega = 0$ начи-

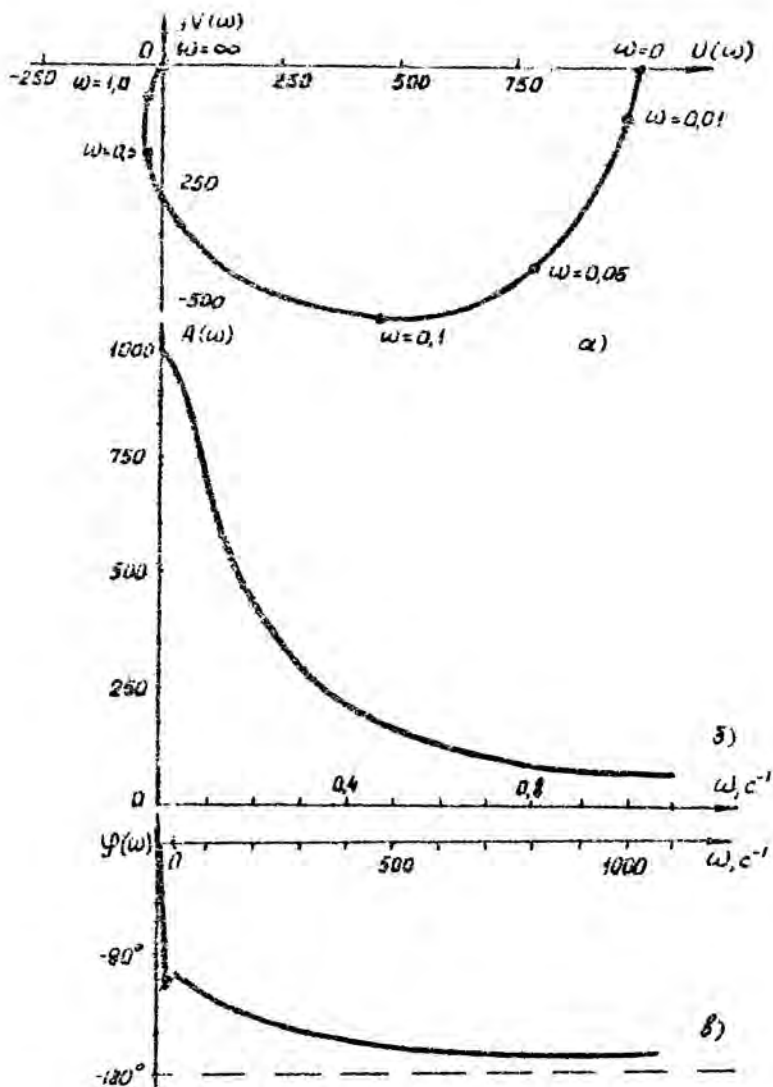


Рис. 4.6. Частотные характеристики САУ:
 а - АФЧХ; б - ЛЧХ; в - ФЧХ

чается на положительной вещественной полуоси в точке $K(j\omega) = \beta_j/a_0 = K$, где K — коэффициент преобразования системы по полужению. При $\omega = \infty$ АФЧХ реальной системы по условию физической осуществимости равна нулю.

В случае астатической системы ν -го порядка ($a_0 = a_1 = \dots = a_{\nu-1} = 0$) при $\omega \rightarrow 0$ $K(j\omega) = \beta_j/a_\nu (j\omega)^\nu = (\beta_j/a_\nu \omega^\nu) e^{-j\nu \frac{\pi}{2}}$, где $\beta_j/a_\nu = K_\nu$ — коэффициент преобразования системы по ν -й производной.

АФЧХ астатической системы, начинаясь на вещественной положительной полуоси, при $\omega \rightarrow 0$ дугой бесконечно большого радиуса перемещается на угол равный $-\nu \frac{\pi}{2}$.

На рис. 4.7 показаны АФЧХ статической (а) и астатической первого (б), второго (в) и третьего (г) порядков систем.

4.6. Анализ устойчивости САУ

Необходимым условием работоспособности САУ является ее устойчивость. Под устойчивостью понимают свойство системы восстанавливать состояние равновесия, из которого она была выведена под влиянием возмущений, после прекращения их действия.

На практике для определения устойчивости САУ используют критерии устойчивости, т.е. правила, позволяющие определить устойчивость системы, не прибегая к решению дифференциальных уравнений.

С помощью критериев не только устанавливается факт устойчивости или неустойчивости системы, но и оценивается влияние тех или иных параметров и структурных изменений в системе на устойчивость. Математически все формы критериев эквивалентны, т.е. они определяют условия, при которых корни характеристического уравнения лежат в левой полуплоскости комплексной плоскости корней.

Алгебраический критерий Гурвица позволяет судить об устойчивости замкнутой системы по коэффициентам ее характеристического уравнения, которым является знаменатель передаточной функции. Необходимые и достаточные условия устойчивости системы определяются различными соотношениями коэффициентов в зависимости от порядка системы.

Критерий Гурвица целесообразно применять, когда характерис-

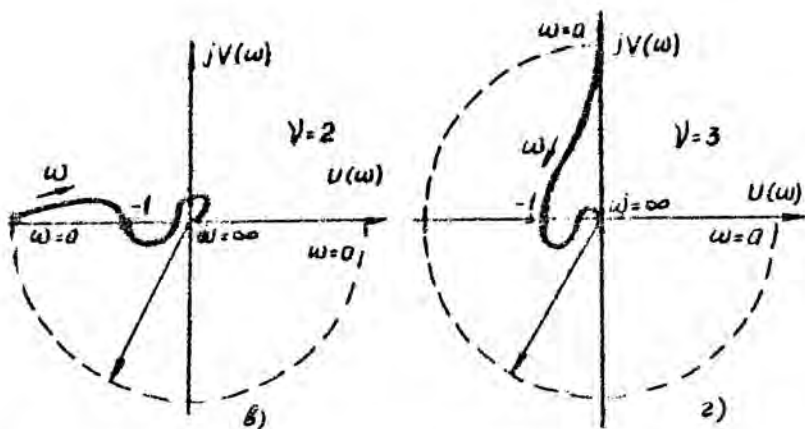
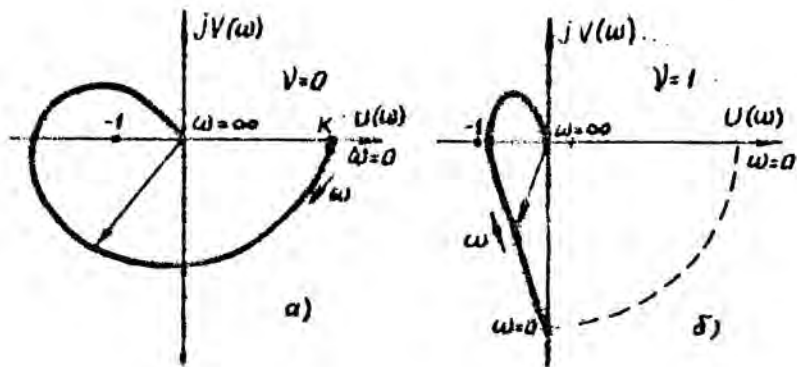


Рис. 4.7. АФЧХ разомкнутых систем с различным порядком вставизма

тическое уравнение имеет порядок не выше пятого $/n \leq 5/$, т.к. с повышением порядка увеличивается трудоемкость вычислений.

Алгебраический критерий Рауса позволяет судить об устойчивости по коэффициентам характеристического уравнения замкнутой системы. Необходимые и достаточные условия устойчивости системы определяются с помощью таблицы Рауса.

Особенно удобен этот критерий в тех случаях, когда коэффициенты характеристического уравнения заданы численно, а порядок уравнения высокий $/n > 5/$ и использование критерия Гурвица затруднительно.

Частотный критерий устойчивости Михайлова основан на связи характера переходного процесса системы с амплитудой и фазой вынужденных колебаний, устанавливающихся в системе при синусоидальном воздействии. Анализ устойчивости системы этим методом сводится к построению по характеристическому многочлену замкнутой системы (знаменатель передаточной функции) на комплексной плоскости кривой, по виду которой можно судить об устойчивости системы.

Критерий Михайлова целесообразно применять при исследовании сложных многоконтурных систем, когда необходимо выявить влияние изменения структуры системы и средств стабилизации на ее устойчивость.

Частотный критерий Найквиста позволяет судить об устойчивости замкнутой системы САУ по АФЧХ разомкнутой системы. Критерий формулируется по-разному в зависимости от того, устойчива разомкнутая система или нет. При отсутствии местных обратных связей разомкнутая система всегда устойчива, если состоит из устойчивых звеньев. При наличии местных обратных связей система может оказаться неустойчива в разомкнутом состоянии.

Критерий Найквиста оправдлив как для статических, так и для астатических систем, если их АФЧХ при $\omega \rightarrow 0$ дополнены дугой бесконечно большого радиуса.

Если считать, что на рис. 4.7 приведены АФЧХ устойчивых разомкнутых систем, то, согласно критерию, в замкнутом состоянии будет устойчива система с $\nu = 1$ (рис. 4.7 б), системы с $\nu = 0$ и $\nu = 3$ (рис. 4.7 в, г) будут неустойчивы, а система с $\nu = 2$ (рис. 4.7 в) будет находиться на границе устойчивости.

Этот критерий целесообразно применять при исследовании сложных систем. Он применим при анализе систем, описываемых ана-

литическими функциями, отличными от дробно-рациональных, например, иррациональными, показательными, трансцендентными и др. Им удобно пользоваться при анализе систем с запаздыванием.

Л и т е р а т у р а

1. К л а с с е в А.С. Автоматическое регулирование. — М.: Выш.шк., 1986. — 351 с.
2. С о л о д о в н и к о в В.А., П л о т н и к о в В.И., Я к о в л е в А.В. Основы теории и элементы систем автоматического регулирования. — М.: Машиностроение, 1985. — 536 с.
3. Автоматика и автоматизация производственных процессов. /В.П.Автушко и др. — Мн.: Выш.шк., 1985. — 302 с.
4. Справочник проектировщика АСУ ТП /Г.Л.Смилинский и др. — М.: Машиностроение, 1983. — 527 с.
5. А н х и м ю к В.Д. Теория автоматического управления. — Мн.: Выш.шк., 1979. — 352 с.
6. В а л ь к о в В.М. Контроль в ГАП. — Л.: Машиностроение, 1986. — 232 с.
7. М а л о в А.Н., И в а н о в Ю.В. Основы автоматизации производственных процессов. — М.: Машиностроение, 1974. — 368 с.
8. Т е р г а н В.С. и др. Основы автоматизации производства. — М.: Машиностроение, 1982. — 269 с.
9. И л ь и н О.П. и др. Системы программного управления производственными установками и робототехническими комплексами. — Мн.: Выш.шк., 1988. — 285 с.
10. К о р о в и н Б.Г. и др. Системы программного управления промышленными установками и робототехническими комплексами. — Л.: Энергоатомиздат, 1990. — 352 с.
11. Адаптивное управление технологическими процессами /Ю.М.Соломенцев и др. — М.: Машиностроение, 1980. — 536 с.
12. Автоматизация типовых технологических процессов и установок. /А.М.Коритин и др. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 432 с.
13. В е р ш и н и н О.Е. Применение микропроцессоров для автоматизации технологических процессов. — Л.: Энергоатомиздат, 1986. — 208 с.

14. Б е с е к е р с к и й В.А., И з р а и ц е в В.В. Системы автоматического управления с микроЭВМ. - М.: Наука, 1987. - 320 с.
15. Л е щ и н с к и й Л.Ю. Структурный и параметрический синтез гибких производственных систем. - М.: Машиностроение, 1990. - 312 с.
16. Сборник задач по теории автоматического регулирования и управления /Под ред. В.А.Бесекерского. - М.: Наука, 1978. - 512 с.

С о д е р ж а н и е

В в е д е н и е.....	3
1. ПОРЯДОК И МЕТОДИКА ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....	4
2. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ.....	4
2.1. Введение.....	4
2.2. Основы управления производственными и технологическими процессами.....	5
2.3. Принципы построения систем автоматического управления и их классификация.....	8
2.4. Математическое описание линейных систем.....	10
2.5. Устойчивость линейных систем.....	12
2.6. Качество процесса управления.....	13
2.7. Синтез систем автоматического управления.....	14
2.8. Нелинейные системы автоматического управления.....	15
2.9. Элементы и устройства систем управления технологическими процессами.....	15
2.10. Автоматическое управление технологическими процессами механообработки.....	17
2.11. Надежность элементов автоматических систем.....	18
2.12. Микропроцессоры и микроЭВМ в системах управления автоматизированными технологическими процессами.....	19
2.13. Автоматизированное управление технологическими системами.....	20
2.14. Заключение.....	21
2.15. Содержание практических занятий.....	21
3. ЗАДАНИЯ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ.....	22
3.1. Содержание и объем контрольных работ.....	22
3.2. Варианты заданий и исходные данные к выполнению контрольной работы.....	22
4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ.....	24
4.1. Математическое описание САУ.....	24
4.2. Построение структурной схемы САУ.....	30
4.3. Преобразование структурных схем.....	33
4.4. Определение передаточных функций разомкнутой и замкнутой систем по заданным воздействию и возмущению.....	35

4.5. Расчет и построение частотных характеристик систем.....	41
4.6. Анализ устойчивости САУ.....	44
Л и т е р а т у р а	47

Учебное издание

КОМЛИК Геннадий Петрович

ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

Рабочая программа, методические указания и
задания к контрольным работам для студентов заочной
формы обучения специальности 12.01 – "Технология
машиностроения"

Редактор Т.Е.Рачковская. Корректор Т.И.Павлович

Подписано в печать 27.09.91.

Формат 60x84¹/16. Бумага тип. № 2. Offset-печать.

~~Усл. печ. л. 3,0. Уч.-изд. л. 2,3. Тир. 100 экз. 891. Бесплатно.~~

Беларусский ордена Трудового Красного Знамени
политехнический институт.

Отпечатано на роталпринте БТИ. 220027. Минск, Ленинский пр., 65.