

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Ижевский А.С.
Светличный С.В.

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ**

Учебно-методическое пособие по специальности
СПО 35.02.08 Электрификация и автоматизация
сельского хозяйства

Благовещенск

УДК 631.173(075)

Рецензент – Т. Н. Мармус, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры электроэнергетики и электротехники ФГБОУ ВО Дальневосточного ГАУ

Техническое обслуживание и ремонт автоматизированных систем сельскохозяйственной техники: учеб. - метод. пособие по спец. СПО 35.02.08 Электрификация и автоматизация сельского хозяйства / Дальневост. гос. аграр. ун-т, ЭЭФ ; сост.: А. С. Ижевский, С. В. Светличный. - Благовещенск : Изд-во Дальневосточного ГАУ, 2018. – 176 с.

Учебно-методическое пособие по междисциплинарному курсу «МКД 03.02 Техническое обслуживание и ремонт автоматизированных систем сельскохозяйственной техники» предназначены для студентов очного обучения Дальневосточного ГАУ специалистов среднего звена в соответствии с ФГОС СПО по направлению 35.02.08 - Электрификация и автоматизация сельского хозяйства.

Рекомендовано к изданию методическим советом электроэнергетического факультета ФГБОУ ВО Дальневосточного ГАУ. Согласовано с факультетом среднего профессионального образования.

Издательство Дальневосточного ГАУ
2018

СОДЕРЖАНИЕ

Лекция 1. Тема: Общие сведения об элементах и системах автоматике, их ТО и ремонт	7
Лекция 2 Тема: Технические средства автоматике	24
Лекция 3 Тема: Системы телемеханики	105
Лекция 4 Тема: Основы теории автоматического управления	114
Лекция 5 Тема: Надёжность и технико-экономическая эффективность работы систем автоматике	144
Список литературы	174

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с программой междисциплинарного курса «МКД 03.02 Техническое обслуживание и ремонт автоматизированных систем сельскохозяйственной техники» обучающиеся изучают 1 раздела:

- Техническое обслуживание и ремонт автоматизированных систем сельскохозяйственной техники;

Целью овладения указанным видом профессиональной деятельности и соответствующими профессиональными компетенциями обучающийся в ходе освоения профессионального модуля должен:

иметь практический опыт:

- эксплуатации и ремонта электротехнических изделий, используемых в сельскохозяйственном производстве;
- технического обслуживания и ремонта автоматизированных систем сельскохозяйственной техники;

уметь:

- использовать электрические машины и аппараты;
- использовать средства автоматики;
- проводить техническое обслуживание и ремонт типовых районных и потребительских трансформаторных подстанций, схем защиты высоковольтных и низковольтных линий;
- осуществлять надзор и контроль за состоянием и эксплуатацией светотехнических и электротехнологических установок;
- осуществлять техническое обслуживание и ремонт автоматизированной системы технологических процессов, систем автоматического управления, электрооборудования и средств автоматизации сельского хозяйства;

знать:

- назначение, устройство, принцип работы машин постоянного тока, трансформаторов, асинхронных машин и машин специального назначения;
- элементы и системы автоматики и телемеханики, методы анализа и оценки их надежности и технико-экономической эффективности;
- систему эксплуатации, методы и технологию наладки,

ремонта и повышения надежности электрооборудования и средств автоматизации сельскохозяйственного производства.

В результате изучения программы профессионального модуля студент должен освоить вид деятельности ВД 5 Выполнение работ по одной или нескольким профессиям рабочих, должностям служащих и соответствующие ему профессиональные компетенции:

Освоение профессионального модуля направлено на развитие **общих компетенций**:

ОК 1 Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес

ОК 2 Организовать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество.

ОК 3 Решать проблемы, оценивать риски и принимать решения в нестандартных ситуациях.

ОК 4 Осуществлять поиск, анализ и оценку информации, необходимой для постановки и решения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.

ОК 5 Использовать информационно-коммуникационные технологии профессиональной деятельности

ОК 6 Работать в коллективе и в команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями

ОК 7 Брать на себя ответственность за работу членов команд (подчиненных), за результат выполнения заданий.

ОК 8 Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации

ОК 9 Быть готовым к смене технологий в профессиональной деятельности.

Профессиональных компетенций:

ПК 3.1 Осуществлять техническое обслуживание электрооборудования и автоматизированных систем сельскохозяйственной техники.

ПК 3.2 Диагностировать неисправности и осуществлять текущий и капитальный ремонт электрооборудования и автоматизированных систем сельскохозяйственной техники.

ПК 3.3 Осуществлять надзор и контроль за состоянием и эксплуатацией электрооборудования и автоматизированных систем сельскохозяйственной техники.

ПК 3.4 Участвовать в проведении испытаний электрооборудования сельхозпроизводства.

ПК 3.5 Осуществлять организационно-технические изменения системы планово-профилактического ремонта.

Трудовые функции по каждой общественной трудовой функции или трудовых действий:

- 1) Знакомство с конструкторской и производственно-технологической документацией на обслуживаемое устройство или механизм.
- 2) Подготовка рабочего места, необходимых инструментов и приспособлений.
- 3) Размещение и закрепление на рабочем месте обслуживаемого устройства или механизма.
- 4) Разборка устройства или механизма с использованием слесарного инструмента, а также специальных приспособлений.
- 5) Очистка, протирка, продувка или промывка устройства или механизма, а также образующих его деталей и узлов.
- 6) Проверка состояния деталей и узлов механизма или устройства на отсутствие повреждений, а также на соответствие их размеров и иных параметров требованиям конструкторской документации.
- 7) Ремонт устройства или механизма с использованием готовых деталей из ремонтного комплекта или с изготовлением деталей на рабочем месте.
- 8) Устранение повреждений на деталях или узлах устройств или механизмов.
- 9) Замена не поддающихся восстановлению деталей или узлов устройств или механизмов.
- 10) Сбор устройства или механизма.

Лекция 1

Тема: Общие сведения об элементах и системах автоматики, их ТО и ремонт

Вопрос 1. Краткие исторические сведения о развитии автоматики. Роль русских учёных в становлении автоматики как науки.

Развитие мировой техники шло в трех направлениях:

- 1) Создание машин двигателей (водяные, ветряные, паровые, дизельные и электрические), которые освободили человека от тяжелого физического труда;
- 2) Создание машин-орудий, т.е. станков и технологического оборудования различного назначения.
- 3) Создание машин для контроля и управления производственными процессами. Развитие этого направления было вызвано необходимостью надежно, точно и быстро управлять машинами-двигателями, машинами-орудиями и сложными технологическими процессами.

Идея создания машин и механизмов, которые бы работали без участия человека, возникла в древности. Первые автоматические действующие устройства, созданные людьми, создавались и использовались в религиозных или развлекательных целях. Практического значения автоматы древности и средневековья, за редким исключением, не имели.

С необходимостью построения управляющих устройств первыми столкнулись создатели высокоточных механизмов, в первую очередь, часов. Даже очень небольшие, но действующие непрерывно, помехи, накапливаясь, приводили, в конечном итоге, к отклонениям от нормального хода, недопустимым по условиям точности. Противодействовать им чисто конструктивными методами, например, улучшая точность и чистоту обработки деталей, повышая их массу или увеличивая полезные усилия, не всегда удавалось. И для повышения точности, в состав часов стали вводить регуляторы. На рубеже нашей эры арабы снабдили поплавковым регулятором уровня водяные часы.

Первое автоматическое устройство практического назначения было изобретено Гюйгенсом в 1657г –

автоматический регулятор маятникового типа для стабилизации скорости хода часового механизма.

Другой причиной, побудившей строить регуляторы, была необходимость управлять процессами, подверженными столь сильным помехам, что при этом утрачивалась не только точность, но зачастую и работоспособность системы вообще. Предшественниками регуляторов для таких условий можно считать применявшиеся еще в средних веках центробежные маятниковые уравниватели скорости хода водяных мукомольных мельниц.

Первые автоматические устройства промышленного назначения появились в связи с изобретением и развитием паровых машин и турбин в 18 и 19 веках в эпоху промышленного переворота в Европе.

Первым автоматическим регулятором такого типа является поплавковый регулятор питания парового котла, разработанный знаменитым русским механиком и изобретателем Н.И. Ползуновым в 1765 году. Он был применен на барнаульском механическом заводе для поддержания заданного уровня воды в паровом котле паровой поршневого машины.

В 1784 году английский механик Джеймс Уатт получил патент на центробежный регулятор скорости паровой машины, используемый для поддержания постоянства частоты вращения.

Принцип работы этих регуляторов оказался одним и тем же: они поддерживают заданное значение физического параметра не точно, а в некотором заданном диапазоне, поэтому такой принцип регулирования, широко применяемый в настоящее время, называется принципом “Ползунова-Уатта”.

К первым промышленным регуляторам относят также первое программное устройство управления ткацким станком от перфокарты, построенное в 1808 году Жаккардом. Оно применялось для воспроизведения узоров на коврах.

Эти регуляторы как бы открыли путь потоку изобретений принципов регулирования и регуляторов, продолжающемуся вплоть до середины 20-го века.

Паровая машина не случайно стала первым объектом для применения техники и теории управления, т.к. она не обладала

способностью работать сама по себе, не имела “самовыравнивания”. Ее неблагоприятные динамические свойства часто приводили к тому, что подключенный к ней регулятор действовал не так, как ожидал конструктор, “раскачивал” машину или вообще оказывался неспособным управлять ею. Все это, естественно, побуждало к проведению теоретических исследований.

Три фундаментальные работы внесли коренное изменение в подходе к проблеме и в методологии исследований и содержали, по существу, изложение начал новой науки об управлении.

Это работы Дж. Максвелла “О регуляторах” (1866 г.) и Вышнеградского

“Об общей теории регуляторов” (1876) и “О регуляторах прямого действия” (1877 г.).

Максвелл и Вышнеградский впервые рассмотрели паровую машину и регулятор как единую динамическую систему, что позволило разработать методику исследования самых разнообразных по принципам действия и конструкции систем, заложить основы теории устойчивости и установить ряд важных общих закономерностей регулирования (по принципу обратной связи).

Особо важную роль в то время сыграла работа профессора Петербургского технологического института Вышнеградского “О регуляторах прямого действия” (1877 г.). В этой работе был проведен детальный анализ характеристик паровой машины и регулятора Уатта, раскрыта динамика работы машины и доказано, что во время работы регулятор и машина образуют единую систему. Эта работа отличалась глубоким инженерным подходом, рассмотрением важных для техники тех лет объектов и содержала кроме ценных практических рекомендаций истоки ряда современных методов исследования качества регулирования (диаграммы устойчивости и распределения корней, выделение областей устойчивости и монотонности и так далее).

Поэтому современники считали Вышнеградского основоположником теории автоматического управления (регулирования).

Работа Максвелла осталась в то время практически незамеченной, поскольку рассматривала малоинтересный для широкого круга инженеров объект (механизм ведения телескопа), явно полезных практических выводов не делала и рекомендовала регуляторы (астатические), практически непригодные для промышленных машин того времени. Ее роль была оценена значительно позже, когда теория автоматического управления (ТАУ) сформировалась в самостоятельную дисциплину.

Одна из первых теоретических работ, посвященных созданию теоретических основ работы и расчёта автоматических регуляторов, выполнена русским математиком П.Л. Чебышевым и посвящена теории работы астатического регулятора.

Помимо этих ученых большой вклад в развитие ТАУ внесли работы словацкого инженера и ученого Стодолы, рассматривавшего вопросы устойчивости регулирования паровых и гидравлических турбин, в учете влияния на процесс регулирования длинного трубопровода;

- Гурвица, разработавшего детерминантный критерий устойчивости по просьбе Стодолы (детерминантный – от лат.: “определитель” - определяющий);

- Рауса, разработавшего алгоритм для оценки расположения корней характеристического уравнения и устойчивости (по рекомендации Максвелла).

В 1892 году А.М. Ляпунов опубликовал работу “Общая задача устойчивости движения”, в которой доказал возможность решения вопросов устойчивости регулирования. Большой вклад в развитие автоматики внесли работы русских ученых Циолковского и Жуковского. Н.И. Жуковский является автором труда “О прочности движения” и первого русского учебника “Теория регулирования хода машин” (1909 г.), в которых дал описание процессов в длинных трубопроводах, рассмотрел влияние сухого трения в регуляторах, исследовал некоторые процессы импульсного регулирования посредством уравнений в конечных разностях.

Значительное развитие получили работы по теоретическим и прикладным вопросам автоматики в нашей стране.

Фундаментальные работы выполнены И.Н. Вознесенским, А.А. Андроновым, И.М. Крыловым, А.Н. Колмогоровым, А.В. Михайловым, В.Н. Петровым, Л.С. Понтрягиным, А.А. Фельдбаумом, В.В. Солодовниковым, А.Г. Бутковским и многими другими. Эти работы способствовали установлению приоритета нашей науки в ряде ведущих областей теории управления.

Развитие науки позволило осуществить широкое внедрение автоматического управления в технике и промышленности, в том числе в металлургии и химической промышленности.

Начало работ по автоматизации процессов черной металлургии СССР следует отнести к концу тридцатых годов двадцатого века, когда были разработаны и внедрены системы регулирования теплового режима мартеновских печей на Магнитогорском и Кузнецком металлургических комбинатах.

В довоенные и первые послевоенные годы основные усилия были направлены на создание систем автоматического регулирования отдельных параметров теплового и технологического режимов металлургических агрегатов, таких как температура, давление, расход, уровень, влажность и других.

Широко развернулись работы по автоматизации процессов черной металлургии в пятидесятые годы. Созданы системы регулирования доменных и мартеновских печей, нагревательных и термических печей, прокатных станов, различных энергетических установок. Существенные результаты были получены в области автоматизации процессов электроплавки – разработаны системы управления тепловым и электрическим режимами дуговых печей. В эти же годы В.А. Сорокиным была осуществлена первая попытка применения ЭВМ для расчёта и управления тепловым состоянием доменной печи.

Со второй половины шестидесятых годов в связи с развитием ЭВМ и появлением достаточно дешёвых, надёжных и быстродействующих ЭВМ в мире появились первые автоматизированные системы управления (АСУ).

Это особенно стало необходимым в связи с появлением и развитием высокопроизводительных агрегатов большой единичной мощности и быстродействующих технологических процессов. В металлургии были созданы 350-ти тонные кислородные конвертеры, прокатные станы производительностью более 5 млн. тонн проката в год и др., поэтому существенно возросли требования к качеству продукции и экономичности производства.

АСУ построены на базе управляющих вычислительных комплексов (УВК), представляющих собой специализированную промышленную ЭВМ, предназначенную для вычислений и реализации функций автоматизированных систем управления. Именно разнообразие этих функций позволило поднять автоматизацию на качественно новый уровень. Автоматизированные системы управления развиваются в двух основных направлениях: автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП) и автоматизированные системы управления производственными процессами (АСУП).

До АСУТП имели место так называемые “локальные” системы автоматического регулирования (САР), в которых за функционирование отдельно взятого контура регулирования определённого технологического параметра отвечал свой автоматический регулятор (лат.: “локальный”- местный, ограниченный по месту).

Согласованная работа контуров, число которых в технологическом процессе может быть большим, проводилась оперативным персоналом.

В АСУТП насчитываются десятки – тысячи отдельных локальных контуров регулирования, согласование которых также проводит оперативный персонал, но при использовании управляющего вычислительного комплекса. Таким образом, локальные САР входят в АСУТП, как составная часть.

Автоматизированные системы управления производственными процессами выполняет функции: маркетинга, календарного планирования, поставок сырья, сбыта готовой продукции, финансирования и т.д. Объектом

управления для АСУП является трудовой процесс непосредственного производства товарной продукции и вся административно-хозяйственная деятельность предприятия, неизбежно сопровождающая основной процесс производства продукции

В настоящее время созданы принципиально новые системы управления – интеллектуальные АСУ, использующие принципы и методы искусственного интеллекта.

Развитие промышленного производства включает в себя три основные составляющие:

- наука;
- проектирование;
- производство (внедрение).

Автоматизация используется не только в промышленном производстве в виде АСУТП И АСУП. В науке создаются автоматизированные системы научных исследований (АСНИ), которые позволяют на порядок увеличить производительность труда ученых.

В промышленности созданы системы автоматизированного проектирования (САПР), которые позволяют увеличить скорость проектирования, значительно уменьшая число ошибок в проекте.

Технический прогресс, осуществляемый на основе автоматизации, включает в себя три основные составляющие: АСНИ – САПР - АСУТП, что позволяет значительно повысить эффективность, как научных разработок, так и конечных производственных результатов.

Вопрос 2. Значение, особенности и перспективы автоматизации современного сельскохозяйственного производства.

Автоматизация сельского хозяйства опирается на богатый опыт промышленности. Вместе с тем к методам и средствам автоматизации, применяемым в животноводстве и растениеводстве предъявляют специфические требования, обусловленные особенностями сельскохозяйственного производства.

В отличие от промышленности в сельском хозяйстве наряду с техникой используются почва и живые организмы, машинная технология тесно переплетается и увязывается с биологическими процессами.

Производственные процессы в сельском хозяйстве сложны и многообразны, имеют большой объем технологической информации и тесную взаимосвязь. Это обуславливает большое разнообразие ТП, исторически сложившихся в период использования живой тягловой силы и находящихся в стадии незавершенной перестройки на поточное машинное производство, а также большое число типов, конструкций, характеристик и режимов работы сельскохозяйственных машин и установок, многие из которых далеко не всегда приспособлены для применения на них даже простейших устройств автоматики.

Система машин, разработанная для сельского хозяйства, имеет около трех тысяч наименований по типам, почти 60 % из которых предназначены для полеводства и около 30% — для животноводства и птицеводства.

Немаловажные особенности — рассредоточенность сельскохозяйственной техники по большим площадям и удаленность ее от ремонтной базы, относительно малая мощность установок, тихоходность и невысокая квалификация обслуживающего персонала, а также сезонность их работы и непродолжительное использование в течение суток. Даже в животноводстве, где операции совершаются и повторяются ежедневно по определенному циклу, общее число часов работы машин в сутки относительно мало. Следовательно, средства автоматики должны быть очень многообразными, относительно дешевыми, простыми по устройству и надежными в эксплуатации.

Основная особенность сельскохозяйственного производства заключается в неразрывной связи техники с биологическими объектами (животными и растениями), для которых характерны непрерывность процессов образования продукции и цикличность ее получения, невозможность увеличения выпуска продукции за счет ускорения производства.

В этих условиях автоматика должна работать надежно, так как такой процесс нельзя прервать и практически невозможно наверстать упущенное путем интенсификации последующего периода. Например, автоматика в животноводстве должна обеспечить цикличность выполнения технологических операций в течение суток независимо от погодных условий.

Возмущающие воздействия имеют высокую степень неоднородности и случайности с изменением своих величин. Многие объекты сельскохозяйственной автоматики имеют контролируемые и регулируемые параметры, распределенные как по технологическому полю или большому объему, так и во времени. Например, в нагревательных установках и сушилках, зернохранилищах и овощехранилищах, теплицах и животноводческих помещениях необходимо по всему объекту контролировать параметры (температуру, влажность, газосодержание, освещение и т. п.) и управлять ими. Для таких объектов системы автоматики должны иметь оптимальное число первичных преобразователей (датчиков) и исполнительных органов и в то же время обеспечить управление параметрами во всех рассредоточенных зонах с заданной точностью и надежностью.

Существенная особенность большинства сельскохозяйственных установок — их работа на открытом воздухе, где окружающая среда непостоянна: широкие пределы изменения влажности и температуры, наличие примесей, пыли, мякины, песка в полеводстве или агрессивных газов (аммиака, сероводорода и углекислого газа), бактериальной осемененности, плесени в животноводстве, а также наличие значительных вибраций и толчков.

Поэтому условия работы средств автоматики в сельском хозяйстве очень тяжелые и вероятность возникновения этих неисправностей значительно чаще, чем в других отраслях народного хозяйства.

Вследствие перечисленных особенностей и ряда других причин методы и средства автоматизации и требования к ним в сельском хозяйстве значительно отличаются от промышленных.

При разработке устройств автоматики сельских установок их необходимо рассчитывать на широкие пределы изменения параметров окружающей среды. Это позволит получить высоконадежные средства, так как наиболее эффективные мероприятия борьбы за повышение надежности устройств автоматики — выбор элементов с малой опасностью отказов и различные способы увеличения надежности при проектировании. Указанные специфические особенности в первую очередь влияют на первичные преобразователи (датчики) и исполнительные органы автоматики, устанавливаемые непосредственно на объектах автоматизации и испытывающие все неблагоприятные условия окружающей среды. Остальные узлы автоматики можно располагать в отдельных помещениях или специальных шкафах, исключающих неблагоприятное воздействие окружающей среды.

Вопрос 5. Роль дисциплины в подготовке специалистов. Роль АРМ в работе специалиста

Автоматизация является инженерной наукой и охватывает программные и технические концепции, методы, средства, продукты и решения по управлению и регулированию автоматизированного производства, включая его разработку, проектирование и модернизацию. Целью автоматизации является разработка и реализация концепций управления как простыми, так и сложными объектами. Автоматика обеспечивает: оптимизацию процессов по определенным заданным критериям (например, таких как максимально возможная экономия ресурсов, минимально возможный ущерб окружающей среде или возможно лучшее качество продукции), защиту человека от опасных, непредвиденных или вредных для здоровья ситуаций, а также поддержку и помощь человеку при выполнении им плановых и исполнительских профессиональных функций и в его индивидуальной жизни.

Автоматизация изначально является связующей платформой между разработчиками, продуцентами и пользователями приборов и систем автоматики, в том числе в

таких отраслях, как электротехника, машиностроение, химическая технология, вычислительная техника/информатика, коммуникационная техника, производство измерительных и исполнительных устройств.

Важная экономическая роль автоматизации может быть подтверждена следующими статистическими данными. Мировой объём производства только электрических средств автоматизации в 2006 году составлял 228 млрд. евро, которые распределяются по странам следующим образом: США - 23 %, Япония - 19 %, Германия - 14 %, Китай - 9 %, 24 страны ЕС (без Германии) - 20 %, остальные - 15 %.

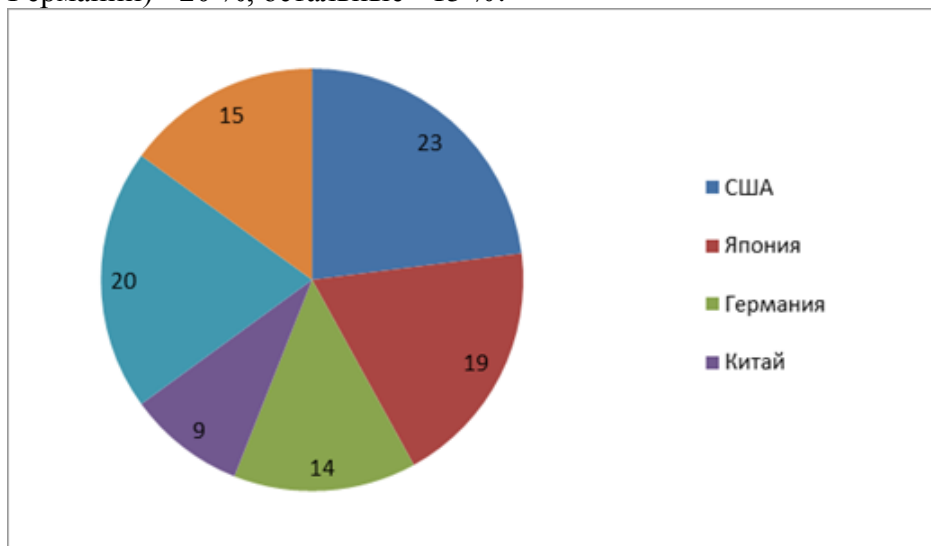


Рис. 1.1 - Структура производства электрических средств автоматизации в мире

Этот объём производимых электрических средств автоматизации использовался странами в следующих долях: США - 26 %, Япония - 15 %, Германия - 9 %, Китай - 8 %, ЕС - 17 %, остальные - 25 %.

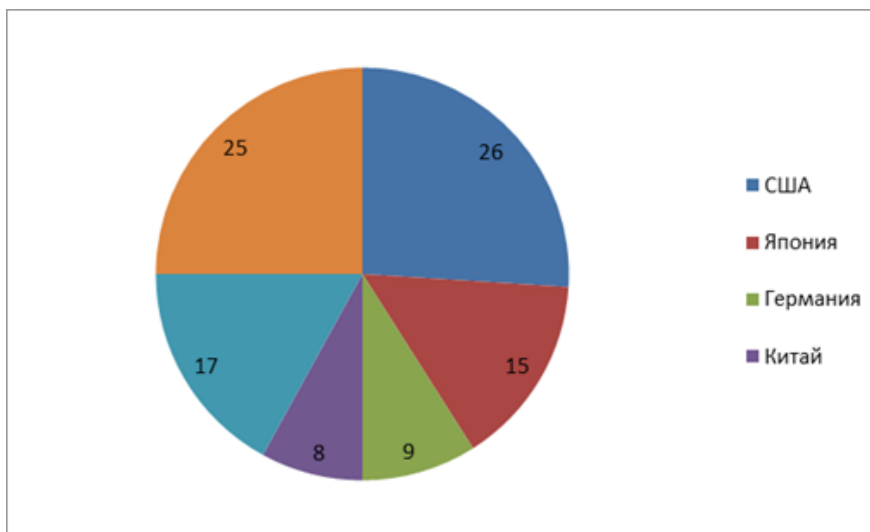


Рис. 1.2 - Структура потребления электрических средств автоматизации в мире

Экспорт средств автоматизации из Германии составляет 77 % от объёма их производства, что соответствует 14,3 % от мирового объёма экспорта (149 млрд. евро).

Роль автоматизации в жизни общества заключается также и в том, что производство технических средств автоматики создаёт большой рынок труда. Например, в Германии в производстве электрических средств автоматики занято более 200 тысяч работников. Кроме того, на всех промышленных предприятиях-пользователях автоматизация дополнительно обеспечивает рабочие места по обслуживанию её средств.

Сегодня практически не существует технических процессов, которые обходятся без автоматики - начиная от простых систем, используемых в повседневной жизни, и кончая сложнейшими промышленными процессами производства. Многие устройства, без которых сегодня невозможно представить себе комфортную и безопасную повседневную жизнь, стали таковыми только благодаря используемой в них автоматике.

Тот факт, что автоматика сегодня получила широкое применение во многих областях, привёл к тому, что пользователь/человек едва ощущает её существование. Многие

её функции воспринимаются сегодня как само собой разумеющееся.

Автоматизированное рабочее место (АРМ), или в зарубежной терминологии «рабочая станция» (work-station), представляет собой место пользователя-специалиста любой профессии, оборудованное средствами, необходимыми для автоматизации выполнения им определенных функций. Таким средством, как правило, является персональный компьютер (ПК), дополняемый по мере необходимости другими вспомогательными электронными устройствами: дисковыми накопителями, печатающими устройствами, оптическими читающими устройствами или считывателями штрихового кода, устройствами графики, средствами сопряжения с другими АРМами и с локальными вычислительными сетями.

В литературе под АРМом традиционно понимается профессионально-ориентированный программно-компьютерный комплекс, обеспечивающий решение задач пользователя непосредственно на рабочем месте. При этом ПЭВМ функционально и эргономически настраивается на потребности и квалификацию пользователя. С позиций обеспечения АРМ специалиста - совокупность технических, программных, математических, информационных и методических средств, предназначенных для повышения эффективности процесса обработки учетной информации на момент принятия решений.

Поэтому более предметным является определение, когда под АРМом понимается рабочее место, оснащенное комплексом технических, программных и информационных средств, создающих условия для непосредственного и высокоэффективного общения работника и ПЭВМ, предназначенных для автоматизации функций работника непосредственно на рабочем месте.

Обучение с использованием автоматизированных АРМов в настоящее время уже не считается новшеством или экспериментом, а становится необходимым требованием, которое внедряется на всех этапах обучения. АРМ - профессионально ориентированный программно-компьютерный

комплекс, обеспечивающий решение задач пользователя непосредственно на рабочем месте.

В условиях интеграции экономики в мировую систему вопрос о качестве подготовки специалистов, в том числе инженерного профиля, становится особо актуальным. Правильно подобранное программное, техническое и информационное обеспечение АРМ позволяет получить желаемые результаты при использовании современных технологий компьютеризации деятельности.

Конкурентоспособный на рынке интеллектуального труда специалист должен быть вооружен профессиональными знаниями и умело применять современную компьютерную технику и технологии для решения задач, далеко выходящих за рамки специальности.

АРМ представляет собой совокупность программно-аппаратных средств, обеспечивающих взаимодействие человека с ЭВМ с целью уменьшения доли непроизводительного «ручного» труда.

Естественно, что автоматизированное место сокращает рутинную работу и ведет к совершенствованию трудовой деятельности.

Создание АРМ также благоприятно сказывается на повышении производительности за счет:

- внедрения новых информационных технологий, применения искусственного интеллекта, возможности эффективного самообразования с использованием современных компьютерных обучающих программ;

- подготовки нового поколения специалистов к работе в условиях компьютеризации общества; умения обращаться с вычислительной техникой, знания основ программирования, основ системотехники, умения использовать возможности, предоставляемые информационно вычислительными технологиями.

Создание автоматизированных рабочих мест с использованием современных научно-технических достижений, НИТ, эффективное их применение на рабочем месте, связь с производством, различными международными научными

центрами, сотрудничество с ними позволят приблизиться к международному уровню стандартов деятельности, что, в свою очередь, повысит уровень предприятия на международном рынке, как результат - конкурентоспособность предприятия.

Эффективность применения АРМ в образовании будет зависеть от научно-обоснованной методики организации АРМ, оптимального комплекта оборудования и программного обеспечения АРМов любого типа и функционального назначения.

Решения по моделированию и методологии создания автоматизированных рабочих мест в системе высшего образования позволяют решать вопросы оптимального технического, программно-методического, информационного и сервисного обеспечения АРМов согласно классификации на индивидуальные, групповые и коллективные; позволяют освободить рабочее время сотрудников и руководителей от значительной доли непроизводительной ручной работы; создают условия для повышения творческого потенциала, совершенствования мастерства, развития новых идей.

Эти и другие проблемы являются достаточно актуальными и требуют эффективных решений в достаточно короткие сроки. Развитие компьютерных технологий предлагает выход из сложившейся ситуации. Современные компьютерные системы, а также развитые технологии Интернет, предлагают новые возможности по автоматизации сбора и хранения информации, проведения расчетов на ее основе, а также предоставление этой информации для широкого круга заинтересованных пользователей.

Классическим подходом при организации управления информацией является информационное моделирование, в основе которого лежит исследование информационных потоков. Построение модели информационных потоков, визуализация их на едином «холсте», предоставляет возможность увидеть «узкие места» в их организации, позволяют посмотреть на их организацию с иной стороны, по-новому, с учетом имеющихся современных компьютерных средств.

Информационными потоками могут являться документы, необходимые для функционирования организации:

- * приказы и распоряжения;
- * необходимая информация для отчетности по работе;
- * нормативно-справочные документы и др.

Информационные потоки должны быть смоделированы потому, что их структура сложна, количество велико, они разнообразны по источникам и пунктам назначения. Для того чтобы пересмотреть их организацию, необходимо держать в голове огромное количество фактов.

В итоге необходимо получить наглядную систему взаимосвязанных потоков информации, организованных по принципу «источник-получатель». Модель должна быть полной и понятной не только ее создателю, но и всем специалистам, знакомым с нотацией данной модели. В этом смысле выразительных средств модели должно быть достаточно, чтобы отразить особенности предметной области. Для этого отлично подходит язык UML, который пригоден для моделирования любых систем и процессов, в том числе и информационных.

На основе анализа нормативных и справочных документов, получена модель информации.

Перед созданием программы были определены задачи, какие будут выполняться с ее помощью. В первую очередь:

- * Программный продукт должен скрывать сложность всех расчетов, проводимых в ходе работы специалиста, требуя только знания того, по каким параметрам проводится работа, а также умения эти параметры измерить.

- * Программный продукт должен обеспечивать хранение результатов работы, а также поиск и предоставление интересующей пользователя информации.

- * Программный продукт должен избавить пользователя от необходимости искать нормативную и другую информацию, необходимую для выполнения работ. Для этого необходимо составить информационную базу данных.

- * Программный продукт должен обеспечить оформление документации, порождаемой выполнением работ (справки, заключения и т.д.)

Исходя из этого, было принято решение относительно программного продукта, а именно сделать его максимально гибким, чтобы обеспечить простоту доработки функциональности и модификации программы.

Перед реализацией необходимо выбрать средства, обеспечивающие хранение информации и работу с документами. Как показывает практика, построение модели автоматизации и приобретение оборудования на сегодняшний день составляют большие финансовые затраты, в связи с этим предлагается лишь малый набор офисных программ (пакет MS Office), таких как текстовый редактор MS Word, СУБД MS Access. Данный перечень программных продуктов позволяет формировать, обрабатывать и хранить документацию предприятия.

Результатом является ядро и модуль программы, предназначенные для автоматизации рабочего места специалиста.

Достаточно часто встаёт задача по объединению уже существующих подсистем автоматизации - для того чтобы они работали совместно в едином информационном пространстве. Объединение уже готовых подсистем, а не создание всей системы заново позволяет сократить сроки и стоимость автоматизации.

Для решения этой задачи целесообразно использовать CALS технологии, которые позволяют создать единую информационную модель объединяемых подсистем (по средствам языка описания данных EXPRESS, определённого в ГОСТ Р ИСО 10303-11-2000), и упростить реализацию их взаимодействия (по средствам стандартного интерфейса доступа к данным SDAI, определённого в ГОСТ Р ИСО 10303-22) за счёт уменьшения связей между ними.

При объединении подсистем вначале создают единую информационную модель, включая в неё информационные модели подсистем автоматизации.

Модифицируют хранилище данных в соответствии с полученной моделью, чтобы последнее её поддерживало. Устраняют различия в локальной и глобальной

информационных моделях по средствам разработки процессоров конвертирования для каждой подсистемы в отдельности.

Для обеспечения поддержки автоматизации на основе CALS технологий был создан программный комплекс, в который вошли: синтезатор, анализатор, загрузчик EXPRESS схем; хранилище данных в виде PDM Lotsia Soft; SDAI интерфейс; текстовый редактор (аналог Microsoft Блокнот).

Автоматизация должна восприниматься в обществе как ведущая дисциплина для развития экономики и техники, и сегодня необходима согласованность между всеми заинтересованными группами во взгляде на её роль, содержание и дальнейшее развитие. Проблемы развития автоматизации должны стать предметом общественно-политической дискуссии, а общественность и политики должны осознать, что без автоматики невозможно обеспечить растущие технические и социальные потребности человечества

Лекция 2

Тема: Технические средства автоматики

Вопрос 1. Структура датчиков. Датчики перемещений, давления и силы. Датчики веса, уровня, температуры. Расходомеры и счётчики жидкостей, газа и материалов. Характеристика датчиков и их применение. ТО и ремонт датчиков

Любой датчик является преобразователем энергии. Датчик - это устройство, воспринимающее внешние воздействия и реагирующее на них изменением электрических сигналов.

Назначение датчиков - реакция на определенное внешнее физическое воздействие и преобразование его в электрический сигнал, совместимый с измерительными схемами. Другими словами, можно сказать, что датчик — это преобразователь физической величины (часто неэлектрической) в электрический сигнал. Под термином *электрический сигнал* понимается сигнал, который может быть преобразован при помощи электронных устройств, например, усилен или передан по линии передач.

Выходными сигналами датчиков могут быть напряжение, ток или заряд, которые описываются следующими характеристиками: амплитудой, частотой, фазой или цифровым кодом. Этот набор характеристик называется *форматом выходного сигнала*. Таким образом, каждый датчик характеризуется набором входных параметров (любой физической природы) и набором выходных электрических параметров.

Вне зависимости от типа измеряемой величины всегда происходит передача энергии от исследуемого объекта к датчику.

Работа датчика — это особый случай передачи информации, а любая передача информации связана с передачей энергии. Очевидным является тот факт, что передача энергии может проходить в двух направлениях, т.е. она может быть как положительной, так и отрицательной, например, энергия может передаваться от объекта к датчику, и, наоборот, от датчика к объекту. Особым случаем является ситуация, при которой энергия равна нулю, но и в этом случае происходит передача информации о существовании именно такой особой ситуации. Например, инфракрасный датчик температуры вырабатывает положительное напряжение, когда объект теплее датчика (инфракрасное излучение направлено в сторону датчика), или отрицательное напряжение, когда объект холоднее датчика (инфракрасное излучение направлено от датчика на объект). Когда датчик и объект имеют одинаковую температуру, инфракрасный поток равен нулю, и выходное напряжение также равно нулю. В этой ситуации и заключена информация о равенстве температур датчика и объекта.

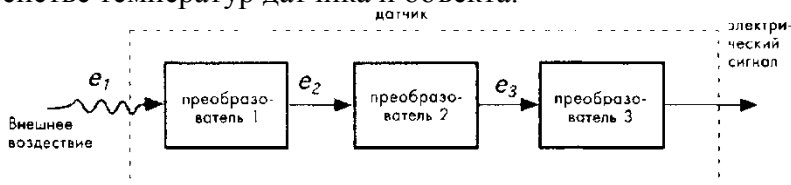


Рис. 1. Датчик может состоять из нескольких преобразователей, e_1, e_2, \dots - различные виды энергии. Отметим, что последний элемент данной схемы является датчиком прямого действия

Преобразователи могут быть частью составных датчиков (рис.1.). Например, в состав химического датчика могут входить два преобразователя, один из которых конвертирует энергию химических реакций в тепло, а другой, термоэлемент, преобразовывает полученное тепло в электрический сигнал. Комбинация этих двух преобразователей представляет собой химический датчик — устройство, вырабатывающее электрический сигнал в ответ на химическую реакцию. Отметим, что в рассмотренном примере химический датчик является составным датчиком, состоящим из преобразователя и еще одного датчика - датчика температуры. В структуру составных датчиков, как правило, входит хотя бы один датчик прямого действия и несколько преобразователей.

Датчиками прямого действия называют датчики, которые построены на физических явлениях, позволяющих проводить непосредственное преобразование энергии внешнего воздействия в электрические сигналы. Примерами таких физических явлений являются фотоэффект и эффект Зеебека, описываемые в третьей главе.

Таким образом, все датчики можно разделить на две группы: датчики прямого действия и составные датчики. Датчики прямого действия преобразуют внешнее воздействие непосредственно в электрический сигнал, используя для этого соответствующее физическое явление, в то время как в составных датчиках прежде чем получить электрический сигнал на выходе окончного датчика прямого действия необходимо осуществить несколько преобразований энергии.

На практике датчики не работают сами по себе. Как правило, они входят в состав измерительных систем, часто довольно больших, объединяющих много разных детекторов, преобразователей сигналов, сигнальных процессоров, запоминающих устройств и приводов. Датчики в таких системах могут быть как наружными, так и встроенными.

Все датчики можно разделить на две категории: **пассивные** и **активные**. Пассивный датчик не нуждается в дополнительной энергии и в ответ на изменение внешнего воздействия на его выходе всегда появляется

электрический сигнал. Это означает, что такой датчик преобразует энергию внешнего сигнала в выходной сигнал. Примерами пассивных датчиков являются термопары, фотодиоды и пьезоэлектрические чувствительные элементы. Большинство пассивных датчиков являются устройствами прямого действия. В отличие от пассивного собрата активный датчик для своей работы требует внешней энергии, называемой *сигналом возбуждения*. При формировании выходного сигнала активный датчик тем или иным способом воздействует на сигнал возбуждения. Поскольку такие датчики меняют свои характеристики в ответ на изменение внешних сигналов, их иногда называют *параметрическими*. Другим примером активных датчиков является резистивный тензодатчик, чье электрическое сопротивление зависит от величины его деформации. Для определения сопротивления датчика через него также необходимо пропустить электрический ток от внешнего источника питания.

В зависимости от выбора точки отсчета датчики можно разделить на **абсолютные** и **относительные**.

Абсолютный датчик определяет внешний сигнал в абсолютных физических единицах, не зависящих от условий проведения измерений, тогда как выходной сигнал *относительного* датчика в каждом конкретном случае может трактоваться по-разному. Примером абсолютного датчика является термистор. Его электрическое сопротивление напрямую зависит от абсолютной температуры по шкале Кельвина. Другой же популярный датчик температуры — термопара — является относительным устройством, поскольку напряжение на его выходе является функцией градиента температуры на проволочках термопары.

Датчик давления — устройство, физические параметры которого изменяются в зависимости от давления измеряемой среды (жидкости, газы, пар). В датчиках давление измеряемой среды преобразуется в унифицированный пневматический, электрический сигналы или цифровой код. Датчик давления состоит из первичного преобразователя давления, в составе которого чувствительный элемент - приемник давления,

схемы вторичной обработки сигнала, различных по конструкции корпусных деталей, в том числе для герметичного соединения датчика с объектом и защиты от внешних воздействий и устройства вывода информационного сигнала. Основными отличиями одних приборов от других являются пределы измерений, динамические и частотные диапазоны, точность регистрации давления, допустимые условия эксплуатации, массогабаритные характеристики, которые зависят от принципа преобразования давления в электрический сигнал: тензометрический, пьезорезистивный, емкостной, индуктивный, резонансный, ионизационный, пьезоэлектрический и другие.

Резонансный метод - в основе метода лежит изменение резонансной частоты колеблющегося упругого элемента при деформировании его силой или давлением. Это и объясняет высокую стабильность датчиков и высокие выходные характеристики прибора. К недостаткам можно отнести индивидуальную характеристику преобразования давления, значительное время отклика, невозможность проводить измерения в агрессивных средах без потери точности показаний прибора.

Индуктивный метод - основан на регистрации вихревых токов (токов Фуко). Чувствительный элемент состоит из двух катушек, изолированных между собой металлическим экраном. Преобразователь измеряет смещение мембраны при отсутствии механического контакта. В катушках генерируется электрический сигнал переменного тока таким образом, что заряд и разряд катушек происходит через одинаковые промежутки времени. При отклонении мембраны создается ток в фиксированной основной катушке, что приводит к изменению индуктивности системы. Смещение характеристик основной катушки дает возможность преобразовать давление в стандартизованный сигнал, по своим параметрам прямо пропорциональный приложенному давлению.

Ионизационный метод - в основе лежит принцип регистрации потока ионизированных частиц. Аналогом являются ламповые диоды. Лампа оснащена двумя электродами: катодом и анодом, — а также нагревателем. В некоторых лампах

последний отсутствует, что связано с использованием более совершенных материалов для электродов. Преимуществом таких ламп является возможность регистрировать низкое давление — вплоть до глубокого вакуума с высокой точностью. Однако следует строго учитывать, что подобные приборы нельзя эксплуатировать, если давление в камере близко к атмосферному. Поэтому подобные преобразователи необходимо сочетать с другими датчиками давления, например, емкостными. Зависимость сигнала от давления является логарифмической.

Пьезоэлектрический метод – в основе лежит прямой пьезоэлектрический эффект, при котором пьезоэлемент генерирует электрический сигнал, пропорциональный действующей на него силе или давлению. Пьезоэлектрические датчики используются для измерения быстроменяющихся акустических и импульсных давлений, обладают широкими динамическими и частотными диапазонами, имеют малую массу и габариты, высокую надежность и могут использоваться в жестких условиях эксплуатации.

Датчик перемещения с изменяющейся индуктивностью.

Наиболее широко для контроля размеров изделий, перемещений движущихся деталей, усилий, давлений, веса грузов и других физических величин используются индуктивные преобразователи.

Такое широкое распространение они получили благодаря своим достоинствам: большой выходной мощности, не требующей дальнейшего усиления сигнала, высокой чувствительности к измеряемой величине, широким пределам измерений, достаточной точности контроля, долговечности в работе, удобству в эксплуатации, простоте конструкции и схемных реализаций.

Однако наряду с отличными достоинствами индуктивные преобразователи обладают нелинейностью характеристики. Поэтому при разработке индуктивного измерительного преобразователя необходимо провести оптимизацию его конструкции, т.е. выбрать такие конструктивных и основных параметров преобразователя, которые бы позволили получить

наилучшие метрологические характеристики. Очень часто в практических целях возникает необходимость осуществлять допусковой контроль размеров изделий, т.е. не самих размеров, а отклонений их от номинальных параметров. Поэтому определенный интерес представляет выяснение протяженности линейного участка характеристики индуктивного преобразователя вблизи заданной ее рабочей точки.

Датчик перемещения с изменяющейся индуктивностью предназначен для преобразования линейного перемещения в изменение индуктивности его обмоток.

Датчик перемещения с изменяющейся индуктивностью, во время работы должен быть устойчивым и прочным к воздействию однократных и многократных механических ударов.

Данные датчики должны сохранять свои характеристики при воздействии постоянных магнитных полей сетевой частоты с напряженностью до 400А/м.

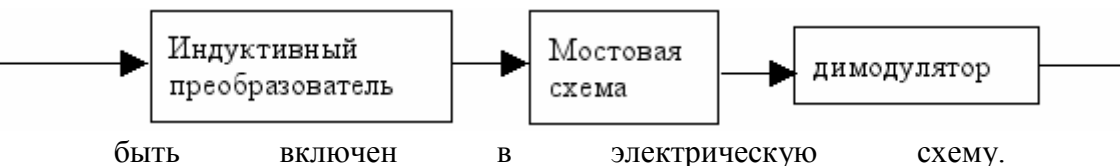
Эксплуатационные требования:

Безопасность эксплуатации датчика перемещения с изменяющейся индуктивностью должна обеспечиваться:

- 1) прочностью установленной в стандартах,
- 2) изоляцией электрических цепей,
- 3) надежным креплением при монтаже на объекте.

Структурная схема:

Для получения выходного сигнала, индуктивный датчик должен



Принцип действия датчика перемещения с изменяющейся индуктивностью:

Действие датчика основано на преобразование линейного перемещения в изменение индуктивности его обмоток путем воздействия на подвижный элемент магнитной системы - якорь(1). Обмотки(2) датчика включены в фазочувствительный мост с выпрямителем, собранный по кольцевой схеме .

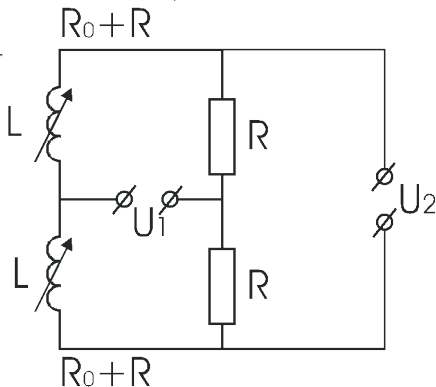
при... $R = R_0, U_2 = U_2 \max = \frac{m * U_1 * \zeta R}{4 * R_0}$

$I = \frac{U_1}{2 * R_0}$

$m = 2$

$U_2 = \frac{m * U_1 * R * \zeta R}{(R_0 + R)^2}$

**Датчик
давления**



- При выборе датчиков следует учитывать величину измеряемого давления (различают абсолютное, избыточное и давление разрежения), а также агрессивность измеряемых сред.
1. Датчик давления Метран - 55 предназначен для измерения давления жидкости (в том числе агрессивных сред), пара, газа. Выпускают:
 - а) датчик для измерения избыточного давления – Метран - 55 - ДИ (Метран-55-Ех-ДИ – взрывозащищенное исполнение). Верхний предел измерений: 0,1 МПа ÷ 100 МПа;
 - б) датчик для измерения давления разрежения – Метран - 55 - ДВ (Метран-55-Ех-ДВ – взрывозащищенное исполнение). Пределы измерений: 0,1 МПа ÷ 0,06 МПа;
 - в) датчик для измерения абсолютного давления – Метран-55-ДА (Метран-55-Ех-ДА – взрывозащищенное исполнение). Верхний предел измерений: 0,6 МПа ÷ 16Мпа;
 2. Датчик давления Метран - 150 предназначен для измерения давления жидкости, пара, газа. Имеет взрывозащищенное исполнение. Выпускают:

а) датчик для измерения избыточного давления – Метран - 150 CG (фланцевое исполнение), Метран-150 CGR (копланарное исполнение), верхний предел измерений: 0,025 кПа ÷ 10 МПа. Датчик для измерения избыточного давления – Метран - 150 TG, Метран-150 TGR (штуцерное исполнение), верхний предел измерений: 3,2 кПа ÷ 60 МПа;



б) датчик для измерения абсолютного давления – Метран - 150 TA (штуцерное исполнение), верхний предел измерений: 3,2 кПа ÷ 25 МПа, Метран-150 TAR (штуцерное исполнение), верхний предел измерений: 1,6 МПа ÷ 68 МПа.



а) б)

Рис. 44. Датчики фирмы Метран:

а) датчик давления Метран - 150 TG;

б) датчик уровня Метран - 150 L

Датчики уровня

При измерении необходимо учитывать агрессивность измеряемых сред, диапазон измерения и погрешность приборов.

1. Датчик для измерения гидростатического давления (уровня) жидкостей – Метран-150 – L. Имеет взрывозащищенное исполнение. Пределы измерений: 0,4 ÷ 25 м, $P_{доп} = 0,4$ МПа. Измеряемая среда: нейтральные и агрессивные жидкости.
2. Преобразователь уровня – буйковый электрический УБ-ЭМ-1 (простое исполнение), УБ-ЭМ-1-Ex (взрывозащищенное исполнение). Пределы измерений: 0,25 ÷ 10 м. Температура

измеряемой среды $-50 \div 450$ °С, плотность среды $400 \div 2000$ кг/м³, допустимая основная погрешность $\pm 0,24, \pm 0,5\%$.

3. Радарный уровнемер для бесконтактного измерения уровня жидких, вязких, пастообразных и сыпучих сред – УЛМ-31 (простое исполнение), УЛМ-11 (взрывозащищенное исполнение). Пределы измерений: $0,6 \div 30$ м.
4. Сигнализатор уровня РОС-101 предназначен для контроля уровня электропроводных и неэлектропроводных жидких, твердых (сыпучих) сред. Обеспечивает сигнализацию «наличия» или «отсутствия» контролируемой среды на установленном уровне. Имеет взрывозащищенное исполнение. Температура измеряемой среды – 100°C ; рабочее давление до 2,5 МПа. Выходной сигнал дискретный.

Датчики массы (веса)

Тензодатчики фирмы «Тензо-М» с аналоговым выходом $4 \div 20$ мА выпускаются балочного типа, мембранного, типа платформа. Область применения тензодатчиков балочного типа и типа платформа – платформенные весы, бункерные весы, взвешивание емкостей. Область применения тензодатчиков сжатия мембранного типа – для взвешивания емкостей, баков.

Т2 – тензодатчик балочного типа из нержавеющей стали, диапазон нагрузки
20-200кг;

Т4 – тензодатчик балочного типа из нержавеющей стали, диапазон нагрузки
30-1000кг;

Т70А – тензодатчик датчик типа платформа, алюминиевый, верхний предел измерения 15, 30, 60, 100, 150кг;

Т100А – тензодатчик датчик типа платформа, алюминиевый, верхний предел измерения 100, 150, 60, 300, 600кг;

М50 – тензодатчик сжатия мембранного типа из нержавеющей стали, верхний предел измерения 0,5, 1, 2, 3, 5 тонн;
Тензодатчики фирмы «Тензо-М» выпускаются в комплекте с силопередающим устройством.

Датчики расхода

При выборе датчиков расхода необходимо учитывать характеристику измеряемой среды (агрессивность, температуру и т.д.) и трубопровода (диаметр условного прохода, наибольшее давление). Для учета суммарных значений расхода на линию применяют счетчики-расходомеры.

1. Датчик для измерения перепада давлений (расхода) – Метран-150 CD (фланцевое исполнение), Метран-150 CDR (копланарное исполнение). Имеет взрывозащищенное исполнение. Пределы измерений: $0,025 \text{ кПа} \div 10 \text{ МПа}$. Изменяемая среда: газ, жидкость, пар. Работает в комплекте с диафрагмой камерной стандартной – ДКС- P_y - d_y , где P_y – условное давление в МПа, d_y – условный диаметр трубопровода ($50 \div 500 \text{ мм}$); либо с диафрагмой фланцевой камерной – ДФК- P_y - d_y , где P_y – условное давление в МПа, d_y – условный диаметр трубопровода ($20 \div 40 \text{ мм}$); либо с диафрагмой бескамерной стандартной – ДБС- P_y - d_y , где P_y – условное давление в МПа, d_y – условный диаметр трубопровода ($300 \div 1000 \text{ мм}$).

2. Расходомер кориолисовый Метран – 360 предназначен для измерения массового и объемного расхода (либо суммарного значения расхода) газа, жидкостей (в том числе агрессивных), эмульсий, суспензий, тяжелых и высоковязких сред. Диапазон измерений расхода $87 \div 43550 \text{ л/ч}$, наибольшее давление в трубопроводе $15,8 \text{ МПа}$.

3. Расходомер переменного перепада давлений Метран-350 с использованием осредняющей напорной трубки ОНТ Annubar предназначен для измерения расхода жидкости, газа, пара. Температура измеряемой среды $-184 \div 677 \text{ }^\circ\text{C}$, избыточное давление в трубопроводе до 25 МПа , условный диаметр трубопровода $12,5 \div 2400 \text{ мм}$.

4. Расходомер-счетчик электромагнитный «ВЗЛЕТ ЭР» предназначен для измерения объемного расхода (до $3056 \text{ м}^3/\text{ч}$) электропроводящих жидкостей (наименьшая удельная проводимость рабочей жидкости $5 \cdot 10^{-4} \text{ См/м}$) в том числе для горячей и холодной воды; d_y от 10 до 300 мм , наибольшее давление в трубопроводе $2,5 \text{ МПа}$.

Датчики температуры

Для измерения температуры применяются датчики как с унифицированным токовым сигналом на выходе, так и без него. В случае применения датчиков без унифицированного токового сигнала на выходе в составе МПК необходимо предусматривать модули ввода сигналов низкого уровня, расшифровывающие сигналы с термопар и термометров сопротивления.

Термометры сопротивления и термопары

1. Датчик температуры ТСМ Метран 204. Пределы измерений: $-50 \div 180^{\circ}\text{C}$. Измеряемая среда: газ, жидкость.
2. Датчик температуры ТСП Метран 205. Пределы измерений: $-200 \div 500^{\circ}\text{C}$. Измеряемая среда: газ, жидкость.
3. Датчик температуры ТСМ Метран 253 (взрывозащищенное исполнение). Пределы измерений: $-50 \div 150^{\circ}\text{C}$. Измеряемая среда: газ, жидкость.
4. Датчик температуры ТСП Метран 255 (взрывозащищенное исполнение). Пределы измерений: $-200 \div 500^{\circ}\text{C}$. Измеряемая среда: газ, жидкость.
5. Датчик температуры ТХК Метран 252 (взрывозащищенное исполнение). Пределы измерений: $-40 \div 600^{\circ}\text{C}$. Измеряемая среда: газ, жидкость.
6. Датчик температуры ТХА Метран 251 (взрывозащищенное исполнение). Пределы измерений: $-40 \div 900^{\circ}\text{C}$. Измеряемая среда: газ, жидкость.
7. Датчик температуры ТХК Метран 242. Пределы измерений: $-40 \div 400^{\circ}\text{C}$. Измерение поверхности твердых тел.
8. Интеллектуальный преобразователь температуры Метран 280. Пределы измерений: $500 \div 1200^{\circ}\text{C}$. Измеряемая среда: газ.
9. Датчик температуры ROSEMOUNT 248 В. Пределы измерений: $100 \div 1820^{\circ}\text{C}$. Измеряемая среда: газ.
10. Накладной датчик температуры воды ДТС 3225-РТ 1000.В2 для измерения температуры воды в системах отопления и вентиляции, крепится на трубопровод. Пределы измерений: $-50 \div 120^{\circ}\text{C}$.

Датчики температуры с унифицированным выходным сигналом

1. Датчик температуры ТСМУ Метран 274. Пределы измерений: $0 \div 180^{\circ}\text{C}$. Измеряемая среда: газ, жидкость, сыпучие вещества.
2. Датчик температуры ТСПУ Метран 276. Пределы измерений: $0 \div 500^{\circ}\text{C}$. Измеряемая среда: газ, жидкость, сыпучие вещества.
3. Датчик температуры ТХАУ Метран 271. Пределы измерений: $0 \div 1000^{\circ}\text{C}$. Измеряемая среда: газ, жидкость, сыпучие вещества.

Датчики влажности

1. Оптический влагомер ткани ВО - 1М предназначен для измерения влажности ткани в %. Основан на измерении влажности по степени отражения от ткани инфракрасного излучения.
2. Влагомер АМЕТЕК модель 3050 ТЕ – интеллектуальный датчик влажности для современных АСУТП. Предназначен для измерения влажности в потоке газа, измеряя частоту колебаний кварцевого кристалла. Выходной сигнал $4 \div 20$ мА, дискретный выход при превышении заданной влажности, возможность передачи данных по интерфейсу RS-232, RS-485.
3. Микроволновой влагомер – MICRORADAR-113В для измерения влажности силикатной массы, формовочных смесей, глины, порошков, песка и т.д. Прибор предназначен для работы в бункерах и дозаторах. Принцип действия основан на измерении величины поглощения СВЧ энергии

Датчик должен воспроизводить физическую величину максимально быстро и точно. Хотя чаще всего датчик выбирают исходя из надежности и удобства обслуживания, его точность, стабильность и повторяемость результатов остаются важнейшими факторами. Основой работы управляющего компьютера является входная информация, поэтому точные и надежные измерения — это необходимое условие качества управления.

Большая часть характеристик датчика, которые приводятся в техническом описании, — статические параметры. Эти параметры не показывают, насколько быстро и точно датчик может измерить сигнал, изменяющийся с большой скоростью. Свойства, отражающие работу датчика в условиях

изменяющихся входных воздействий, называются **динамическими характеристиками**. Они существенно влияют на работу системы управления. Идеальный датчик мгновенно реагирует на изменение измеряемой физической величины. На практике любому датчику необходимо некоторое время на отработку нового входного сигнала. Очевидно, что для адекватного отображения реальных изменений наблюдаемой величины время реакции датчика должно быть как можно меньше. Это тот же самый принцип, который применяется ко всей системе управления (компьютеру) процессом реального времени в целом: временные характеристики физического процесса определяют быстродействие системы (производительность компьютера). Однако чаще требуется компромисс между скоростью реакции датчика и его чувствительностью к шуму.

Рассматривая датчики используемые СаиУ необходимо знать характеристики определяющие особенности их работы, при этом различают статические и динамические характеристики, кроме них для датчиков характерны такие параметры, как:

- точность;
- разрешение;
- погрешность (ошибка) измерения.

Точность датчика определяет разницу между измеренной и действительной величиной; она может быть отнесена к датчику в целом или к конкретному его показанию. Точность датчика зависит не только от его аппаратной части, но и от остальных элементов измерительного комплекса.

Разрешение -это наименьшее отклонение измеряемой величины, которое может быть зафиксировано и отражено датчиком. Разрешение намного чаще, чем точность, указывается в технических описаниях.

Погрешность (ошибка) измерения определяется как разница между измеренной и действительной величинами.

Ошибки измерения можно классифицировать и, соответственно, моделировать как детерминированные (или систематические) и случайные (или стохастические).

Детерминированные ошибки связаны с неисправностью датчика, нарушением условий его применения или процедуры измерений. Эти ошибки повторяются при каждом измерении. Типичная систематическая ошибка — это смещение показаний или сдвиг. В принципе, систематические ошибки устраняются при поверках. Случайные ошибки имеют самое разное происхождение. В большинстве случаев — это влияние окружающей среды (температуры, влажности, электрических наводок и т. п.). Если причины случайных ошибок известны, то эти ошибки можно компенсировать. Часто влияние возмущений характеризуют количественно такими параметрами, как средняя ошибка, среднеквадратичная ошибка или стандартное отклонение разброс либо погрешность.

Динамические характеристики датчиков

Динамические свойства датчика характеризуются целым рядом параметров, которые, однако, довольно редко приводятся в технических описаниях производителей. Динамическую характеристику датчика можно экспериментально получить как реакцию на скачок измеряемой входной величины (рис.2.5).

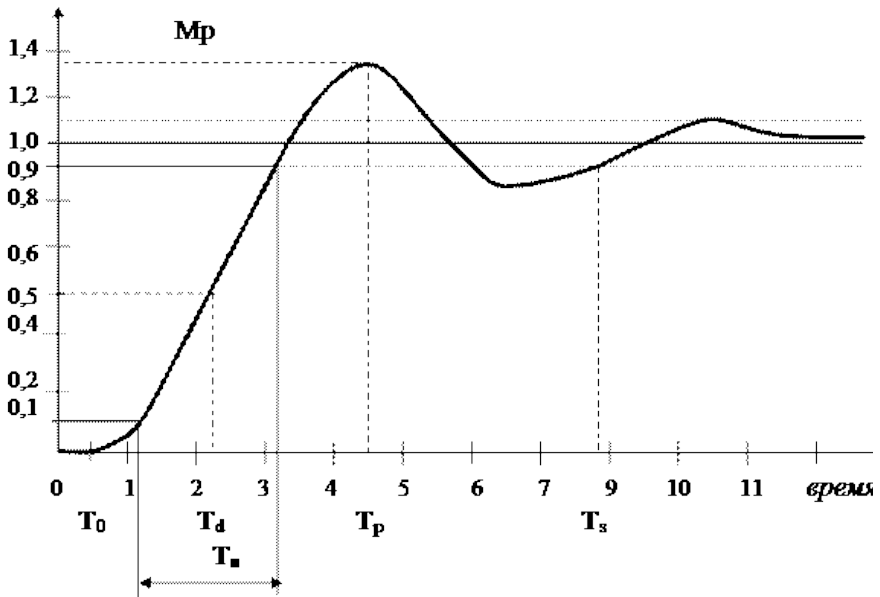


Рис. 2.5. Динамическая реакция датчика (реакция на скачок):

- T_0 — время прохождения зоны нечувствительности,
- T_d — запаздывание,
- T_p — время достижения первого максимума,
- T_s — время установления,
- M_p — перерегулирование
- T_n — время нарастания

Датчик должен воспроизводить физическую величину максимально быстро и точно. Хотя чаще всего датчик выбирают исходя из надежности и удобства обслуживания, его точность, стабильность и повторяемость результатов остаются важнейшими факторами. Основой работы управляющего компьютера является входная информация, поэтому точные и надежные измерения — это необходимое условие качества управления.

Большая часть характеристик датчика, которые приводятся в техническом описании, — статические параметры. Эти параметры не показывают, насколько быстро и точно датчик может измерить сигнал, изменяющийся с большой скоростью. Свойства, отражающие работу датчика в условиях изменяющихся входных воздействий, называются

динамическими характеристиками. Они существенно влияют на работу системы управления. Идеальный датчик мгновенно реагирует на изменение измеряемой физической величины. На практике любому датчику необходимо некоторое время на обработку нового входного сигнала. Очевидно, что для адекватного отображения реальных изменений наблюдаемой величины время реакции датчика должно быть как можно меньше. Это тот же самый принцип, который применяется ко всей системе управления (компьютеру) процессом реального времени в целом: временные характеристики физического процесса определяют быстродействие системы (производительность компьютера). Однако чаще требуется компромисс между скоростью реакции датчика и его чувствительностью к шуму.

Рассматривая датчики используемые СавУ необходимо знать характеристики определяющие особенности их работы, при этом различают статические и динамические характеристики, кроме них для датчиков характерны такие параметры, как:

- точность;
- разрешение;
- погрешность (ошибка) измерения.

Точность датчика определяет разницу между измеренной и действительной величиной; она может быть отнесена к датчику в целом или к конкретному его показанию. Точность датчика зависит не только от его аппаратной части, но и от остальных элементов измерительного комплекса.

Разрешение -это наименьшее отклонение измеряемой величины, которое может быть зафиксировано и отражено датчиком. Разрешение намного чаще, чем точность, указывается в технических описаниях.

Погрешность (ошибка) измерения определяется как разница между измеренной и действительной величинами. Ошибки измерения можно классифицировать и, соответственно, моделировать как детерминированные (или систематические) и случайные (или стохастические). Детерминированные ошибки связаны с неисправностью датчика, нарушением условий его

применения или процедуры измерений. Эти ошибки повторяются при каждом измерении. Типичная систематическая ошибка — это смещение показаний или сдвиг. В принципе, систематические ошибки устраняются при поверках. Случайные ошибки имеют самое разное происхождение. В большинстве случаев — это влияние окружающей среды (температуры, влажности, электрических наводок и т. п.). Если причины случайных ошибок известны, то эти ошибки можно компенсировать. Часто влияние возмущений характеризуют количественно такими параметрами, как средняя ошибка, среднеквадратичная ошибка или стандартное отклонение и разброс либо погрешность.

Динамические характеристики датчиков

Динамические свойства датчика характеризуются целым рядом параметров, которые, однако, довольно редко приводятся в технических описаниях производителей. Динамическую характеристику датчика можно экспериментально получить как реакцию на скачок измеряемой входной величины (рис.2.5).

Параметры, описывающие реакцию датчика, дают представление о его скорости (например, время нарастания, запаздывание, время достижения первого максимума), инерционных свойствах (относительное перерегулирование, время установления) и точности (смещение).

В принципе следует стремиться к минимизации следующих параметров.

- Время прохождения зоны нечувствительности— время между началом изменения физической величины и моментом реакции датчика, т. е. моментом начала изменения выходного сигнала.

- Запаздывание— время, через которое показания датчика первый раз достигают 50 % установившегося значения. В литературе встречаются и другие определения запаздывания.

- Время нарастания— время, за которое выходной сигнал увеличивается от 10 до 90 % установившегося значения. Другое определение времени нарастания — величина, обратная наклону кривой реакции датчика на скачок измеряемой величины в момент достижения 50 % от установившегося значения,

умноженная на установившееся значение. Иногда используются другие определения. Малое время нарастания всегда указывает на быструю реакцию.

- Время достижения первого максимума— время достижения первого максимума выходного сигнала (перерегулирования).

- Время переходного процесса, время установления— время, начиная с которого отклонение выхода датчика от установившегося значения становится меньше заданной величины (например, $\pm 5\%$).

- Относительное перерегулирование — разность между максимальным и установившимся значениями, отнесенная к установившемуся значению (в процентах).

- Статическая ошибка — отклонение выходной величины датчика от истинного значения или смещение. Может быть устранена калибровкой датчика.

В реальных условиях некоторые требования к датчикам всегда противоречат друг другу, поэтому все параметры нельзя минимизировать одновременно.

Статические характеристики датчиков

Статические характеристики датчика показывают, насколько корректно выход датчика отражает измеряемую величину спустя некоторое время после ее изменения, когда выходной сигнал установился на новое значение. Важными статическими параметрами являются: чувствительность, разрешающая способность или разрешение, линейность, дрейф нуля и полный дрейф, рабочий диапазон, повторяемость и воспроизводимость результата.

- Чувствительность датчика определяется как отношение величины выходного сигнала к единичной входной величине (для тонких измерительных технологий определение чувствительности может быть более сложным).

- Разрешение — это наименьшее изменение измеряемой величины, которое может быть зафиксировано и точно показано датчиком

- Линейность описывается аналитически, а определяется исходя из

градуировочной кривой датчика. Статическая градуировочная кривая показывает зависимость выходного сигнала от входного при стационарных условиях. Ближе к этой кривой к прямой линии и определяет степень линейности. Максимальное отклонение от линейной зависимости выражается в процентах.

- Статическое усиление или усиление по постоянному току — это коэффициент усиления датчика на очень низких частотах. Большой коэффициент усиления соответствует высокой чувствительности измерительного устройства.

- Дрейф определяется как отклонение показаний датчика, когда измеряемая

величина остается постоянной в течение длительного времени.

Величина дрейфа

может определяться при нулевом, максимальном или некотором промежуточном значении входного сигнала. При проверке дрейфа нуля измеряемая величина поддерживается на нулевом уровне или уровне, который соответствует нулевому выходному сигналу, а проверка дрейфа на максимуме выполняется при значении измеряемой величины, соответствующем верхнему пределу рабочего диапазона датчика. Дрейф датчика вызывается нестабильностью усилителя, изменением окружающих условий (например, температуры, давления, влажности или уровня вибраций), параметров электроснабжения или самого датчика (старение, выработка ресурса, нелинейность и т. д.).

- Рабочий диапазон датчика определяется допустимыми верхним и нижним пределами значения входной величины или уровня выходного сигнала.

- Повторяемость характеризуется как отклонение между несколькими

последовательными измерениями при заданном значении измеряемой величины в одинаковых условиях, в частности приближение к заданному значению должно происходить всегда и либо как нарастание, либо как убывание. Измерения должны быть выполнены за такой промежуток времени, чтобы не проявлялось влияние дрейфа. Повторяемость обычно выражается в процентах от рабочего диапазона.

- Воспроизводимость аналогична повторяемости, но требует большего интервала между измерениями. Между проверками на воспроизводимость датчик должен использоваться по назначению и, более того, может быть подвергнут калибровке. Воспроизводимость задается в виде процентов от рабочего диапазона, отнесенных к единице времени (например, месяцу).

Вопрос 2. Коммутационная аппаратура, её виды и назначение. Аппаратура защиты схем автоматики, её виды и назначение. Основные понятия о релейных элементах автоматики, их параметрах, времени срабатывания и отпускания. Электромагнитное реле постоянного и переменного тока, поляризованное и герконовое реле, контакторы, магнитные пускателя, шаговый искатель и реле времени, их устройство и назначение. Их ТО и ремонт.

Коммутационная аппаратура, её виды и назначение

В электрике все процессы замыкания и размыкания сети принято называть коммутацией. Эти функции выполняет специальное оборудование. Оно устанавливается в самых различных цепях и обеспечивает нормальное функционирование системы. Коммутационные аппараты представляют собой устройства, которые призваны подавать или прекращать поступление электрического тока в сеть. Сегодня применяется множество разновидностей представленных агрегатов. Они отличаются конструкцией и спецификой действия. Чтобы правильно выбрать агрегат, необходимо рассмотреть существующие виды и их особенности.

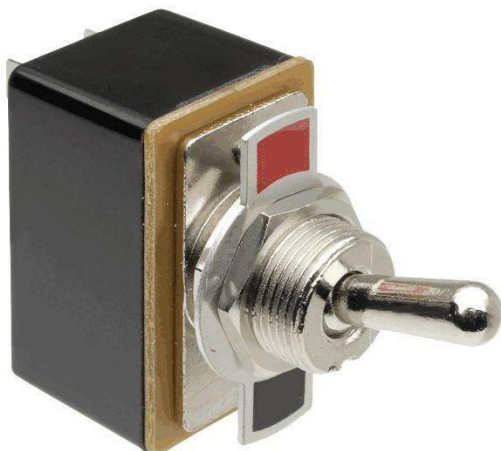
Общая характеристика

Назначение коммутационных аппаратов сводится к процессу пропускания электроэнергии благодаря замыканию и размыканию цепи. Сегодня все существующие агрегаты этого типа можно разделить на две категории. К первой группе относятся контактные (механические) приборы, а ко второй – бесконтактные (полупроводниковые или газоразрядные) разновидности.



Самыми часто встречаемыми приборами коммутационного типа являются выключатели, рубильники, контакторы, реле, предохранители. Они обладают определенными особенностями, которые необходимо учитывать при выборе. Приобретать коммутационный прибор необходимо в соответствии с условиями эксплуатации.

Представленные агрегаты могут иметь в своей конструкции несколько полюсов. Их количество может составлять от одного до четырех. В соответствии с этим показателем приборы также разделяют на группы. Чаще всего в продаже представлены двухполюсные изделия. Они имеют два положения – «выключено» или «включено». Рубильник Управление коммутационными аппаратами может производиться вручную или посредством бесконтактного реагирования на изменения в окружающей среде. Самым простым вариантом механического типа является рубильник. Его управление выполняется вручную.



Прибор применяется для коммутации в электрических цепях с напряжением, которое не превышает 660В. В продаже представлены одно-, двух- и трехполюсные разновидности агрегатов. При помощи рубильника разъединяется цепь под напряжением или без него. Известным производителем в нашей стране представленной техники является Курский электроаппаратный завод. Рубильники могут быть бытовыми или промышленными. Первая категория рассчитана для применения в низковольтной сети, а вторая – в высоковольтной. Это востребованное оборудование, которое применяется практически повсеместно. **Разновидности рубильников**

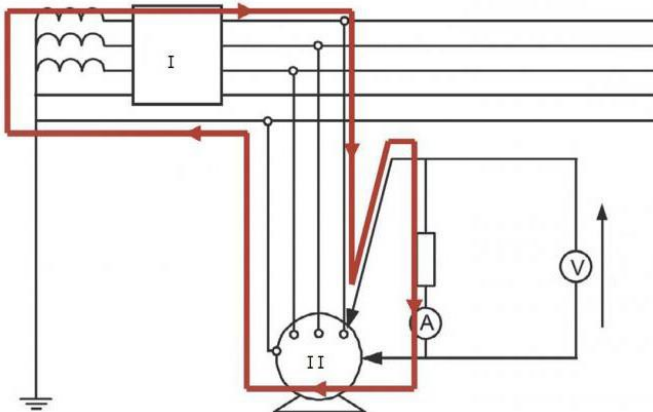
Коммутационные аппараты, которые относятся к типу рубильников, в свою очередь, делятся на подгруппы. Выделяют разъединитель, переключатель и короткозамыкатель. В первом случае прибор прерывает подачу электричества в цепь, которая имеет незначительную силу тока. Этот тип приборов применяется для осуществления осмотра или ремонта системы. Разъединитель имеет расстояние между контактами для изоляции.



Переключатели переводит электрический ток из одной цепи в другую. Короткозамыкатель не производится и не применяется в современной аппаратуре. Он создает короткое замыкание. В продаже представлены аппараты, совмещающие представленные функции. Например, это может быть разъединитель-выключатель. Это рубильник с камерой для гашения дуги. Он может работать как на одно, так и на два направления. Если же в таком рубильнике нет камеры для гашения дуги, этот прибор относится к группе разъединителей.

Выключатель

Автоматический выключатель общего назначения является коммутационным аппаратом до 1000 В (переменный ток) и до 440 В (постоянный ток). Этот агрегат относится к приборам механического типа. Он может включать, пропускать или отключать подачу электрического тока. Он способствует защите электрических сетей от перегрузок, критического снижения напряжения или короткого замыкания. Классической в этом случае является схема УЗО (представлена далее).



I - УЗО.

II - Электрический потребитель (измерительный прибор).

Автоматический выключатель может управлять сетью. Для этого в их конструкции предусматривается наличие различных приводов.

Существует множество различных модификаций представленных устройств. Это позволяет применять их практически во всех областях энергетики. Чаще всего в бытовых и промышленных сетях используют именно пакетные типы выключателей.

Главная Технологии Электроника Автомат двухполюсный: установка, схема подключения

Автоматический выключатель или автомат - это коммутационное устройство, проводящее токи при нормальных условиях в цепи и автоматически отключающее подачу электричества от питающей сети к потребителю при коротком замыкании или при перегрузке, можно также включать и отключать цепь вручную. Главное отличие двухполюсного автомата от однополюсного - это наличие автомата как на фазе, так и на ноле, то есть на двух полюсах. Причем при отключении одновременно разъединяются и фаза и ноль, благодаря общей рукоятке взвода. Используется для монтажа однофазной цепи. Для трехфазной цепи нужно применять 3- и 4-полюсные автоматы.

Область применения

1. В качестве вводных защитных автоматов. Это наиболее популярный способ применения. При одновременном отключении фазы и нуля обеспечивается максимальная безопасность при работах в цепи, потому что происходит полное обесточивание. К тому же, по новым правилам Устройства электроустановок (п. 6.6.28, п. 3.1.18), запрещена эксплуатация однополюсных автоматов на вводе.
2. Для защиты отдельной группы потребителей электроэнергии. Отключение двухполюсного автомата предотвратит срабатывание УЗО (Устройство защитного отключения - предназначен для защиты от дифференциальных токов) при ошибочном соприкосновении нуля и фазы при ремонтных работах в цепях под нагрузкой. А также облегчает поиск ветки с неисправностью при срабатывании УЗО от утечки токов на землю.
3. Для защиты и управления цепями с одновременным подключением питания. Например, при подключении тепловой пушки через один полюс автомата подается фаза на тэны, а через другой полюс - фаза на электродвигатель вентилятора. Если произойдет отключение одного оборудования, отключится и другое, что предотвратит вероятность работы тэнов без охлаждения.

Основные разновидности выключателей

Представленные приборы коммутации имеют множество вариантов. К автоматическим разновидностям относятся устройства защитного отключения и дифференциальные выключатели. В первом случае схема УЗО способно защитить человека от поражения электрическим током при возникновении аварийной ситуации. Дифференциальные выключатели представляют собой особый тип выключателя. В его конструкции УЗО соединяется с выключателем. Это обеспечивает комплексную защиту от поражения током.

Пакетные переключатели применяются для цепей с напряжением 110-380 В. Их устанавливают с целью управления асинхронными двигателями, комплектными приборами. Такие коммутационные приборы собираются на поверхности

квадратного вала. В состав системы в этом случае входит определенное количество подобных агрегатов. Здесь есть рукоятка и механизм ее фиксации. При ее повороте вал приводится в движение. Коммутирующие кулачки прибора размыкают цепь.

Автоматические выключатели общего назначения представляют собой коммутационные аппараты до 1000 В. Они могут работать как при переменном, так и постоянном токе. Имеют в своем составе привод, расцепители.

Привод и расцепители

Привод коммутационного аппарата приводится в движение ручным или бесконтактным способом. Бывают системы с совмещенной системой управления. Выключение производится при помощи пружин. Они приводятся в движение после разъединения расцепителя. Эта деталь исключает возможность удержания контактов во включенном положении при возникновении аварийной ситуации.



Расцепитель представляет собой систему из связочных шарнирных рычагов. Они соединяют привод с подвижными контактами, которые, в свою очередь, примыкают к отключающей пружине. Именно расцепители отвечают за поддержание требуемых параметров цепи, которую они защищают. Если в системе наблюдаются отклонения от нормального значения, эти элементы отключают питание.

Методы автоматического расцепления

Защитно-коммутационные аппараты имеют в своей конструкции реле. Они входят в состав расцепителей. Реле могут быть электромеханическими или статистическими. Производят контроль и сопоставление заданных параметров

полупроводниковые материалы. Этот принцип заложен во вводных автоматах. Электромеханические разновидности могут быть выполнены на базе электротепловых, электромагнитных или комбинированных элементов. Вводной коммутационный аппарат представленного типа устанавливается в квартирах, домах, на промышленных объектах и т. д. Расцепители могут не иметь установленного интервала времени при выполнении срабатывания. Также в продаже присутствуют приборы с независимой выдержкой или срабатыванием с обратной зависимостью от тока.

Другие разновидности

Коммутационные аппараты также включают в себя предохранители, контакторы и реле. В первом случае прерывание производится при помощи разрушения специальных элементов. Они проводят ток. Контактторы применяются для операций включения, отключения питания. К этой категории устройств относятся пускатели, реостаты пускового и пускорегулирующего типа. Электрическое реле может быть отдельным прибором. Он служит для размыкания сети при заданных параметрах. Рассмотрев коммутационные аппараты, применяемые в современной электрике, можно принять правильное решение при выборе представленного оборудования.

2) Аппаратура защиты схем автоматики, её виды и назначение.

Аппараты защиты - это устройства, которые предназначены для защиты электрических цепей, электрооборудования, машин и других агрегатов от любых угроз, мешающих нормальной работе этих устройств, а также для их защиты от перегрузок. Здесь важно отметить, что они должны быть правильно установлены, а эксплуатация должна проводиться точно в соответствии с инструкцией, иначе аппараты защиты сами могут стать причиной выхода оборудования из строя, взрыва, пожара и прочего.

Основные требования к приспособлениям Для того чтобы прибор мог успешно эксплуатироваться, он должен удовлетворять следующим требованиям:

- Аппараты защиты ни в коем случае не должны иметь температуру сверх допустимой для них под нормальной нагрузкой электрической сети или электрического оборудования.
- Прибор не должен отключать оборудование от питания во время кратковременных перегрузок, к которым часто относится пусковой ток, ток при самозапуске и т. д.

При выборе плавких вставок для предохранителей необходимо основываться на номинальном токе в участке цепи, который и будет защищать данное устройство. Это правило выбора аппаратов защиты актуально в любом случае при выборе любого приспособления для защиты. Также важно понимать, что при длительном перегреве защитные качества значительно снижаются. Это негативно сказывается на приборах, так как в момент критической нагрузки они могут, к примеру, просто не отключиться, что приведет к аварии.

Аппараты защиты должны обязательно отключать сеть при возникновении длительных перегрузок внутри этой цепи. При этом должна обязательно соблюдаться обратная зависимость от тока по времени выдержки.

В любом случае устройство защиты должно отключать цепь в конце при возникновении короткого замыкания (КЗ). Если КЗ происходит в однофазной цепи, то отключение должно происходить в сети с глухозаземленной нейтралью. Если короткое замыкание происходит в двухфазной цепи, то в сети с изолированной нейтралью.

У аппаратов защиты электрических цепей имеется отключающая способность I_{pr} . Значение этого параметра должно соответствовать току короткого замыкания, который может возникнуть в начале защищаемого участка. Если же это значение будет ниже, чем максимально возможный ток КЗ, то процесс отключения участка цепи может не произойти вовсе или же произойти, но с задержкой. Из-за этого могут быть повреждены не только приборы, подключенные к этой сети, но и сам аппарат защиты электрической цепи. По этой причине коэффициент отключающей способности должен быть больше или же равен максимальному току короткого замыкания.

Предохранители плавкого типа

На сегодняшний день имеется несколько приборов для защиты электрических сетей, которые наиболее распространены. Одно из таких приспособлений - это плавкий предохранитель. Назначение аппарата защиты такого типа заключается в том, что он защищает сеть от перегрузок токового типа и от коротких замыканий.

На сегодняшний день существуют приборы разового применения, а также со сменными вставками. Эксплуатировать такие приспособления можно как в промышленных нуждах, так и в быту. Для этого есть приборы, которые используются в линиях до 1 кВ.

Кроме них есть высоковольтные устройства, применяющиеся на подстанциях, напряжение которых более 1000 В. Примером такого устройства может стать плавкий предохранитель на трансформаторах собственных нужд подстанций с 6/0,4 кВ.

Так как назначение этих аппаратов защиты - это защиты от КЗ и от токовых перегрузок, то они получили довольно широкое применение. Кроме того они очень просты и удобны в эксплуатации, их замена проводится также быстро и легко, а сами по себе они очень надежны. Все это привело к тому, что такие предохранители используются очень часто.

Для рассмотрения технических характеристик можно взять прибор ПР-2. В зависимости от номинального тока данный прибор выпускается с шестью видами патронов, которые отличаются по своему диаметру. В патроне каждого из них может устанавливаться вставка с расчетом на различный номинальный ток. К примеру, патрон, рассчитанный на ток 15 А, может быть снабжен вставкой и на 6 А, и на 10 А.

Кроме этой характеристики имеется также понятие нижнего и верхнего испытательного тока. Что касается нижнего значения испытательного тока, то это максимальное значение тока, при протекании которого в цепи на протяжении 1 часа не произойдет отключение участка цепи. Что касается верхнего значения, то это минимальный коэффициент тока, который при

протекании в течение 1 часа в цепи расплавит вставку в аппарате защиты и управления.



Автоматические выключатели

Автоматические выключатели играют ту же роль, что и плавкие предохранители, но при этом их конструкция более сложная. Однако это компенсируется тем, что использовать выключатели гораздо удобнее, чем предохранители. К примеру, если в сети появится короткое замыкание по причине старения изоляции, то выключатель способен отключить от питания поврежденный участок электрической цепи. При этом же аппарат управления и защиты сам по себе достаточно легко восстанавливается, после срабатывания он не требует замены на новый, а после проведения ремонтных работ способен снова надежно защищать подконтрольный ему участок цепи. Использовать такого рода выключатели очень удобно, если необходимо провести какие-либо регламентные ремонтные работы. Что касается производства данных приборов, то основной показатель - это номинальный ток, на который рассчитан прибор. В этом плане наблюдается огромный выбор,

что позволяет подобрать под каждую цепь наиболее подходящее устройство. Если говорить о рабочем напряжении, то они, как и предохранители, делятся на два вида: с напряжением до 1 кВ и высоковольтные с рабочим напряжением выше 1 кВ. Здесь важно добавить, что высоковольтные аппараты защиты электрооборудования и электрических цепей производятся вакуумными, с инертным газом или маслом наполненными. Такое исполнение позволяет на более высоком уровне осуществлять расцепление цепи при возникновении такой необходимости. Еще одно существенное отличие автоматических выключателей от предохранителей состоит в том, что они изготавливаются для эксплуатации не только в однофазных, но и в трехфазных цепях.

К примеру, при возникновении короткого замыкания на землю одной из жил электрического двигателя автоматический выключатель отключит все три фазы, а не одну поврежденную. Это существенное и ключевое отличие, так как, если отключить лишь одну фазу, то двигатель будет продолжать функционировать на двух фазах. Такой режим работы является аварийным и сильно снижает срок эксплуатации прибора, а может и вовсе привести к аварийному выходу из строя оборудования. Кроме того, выключатели автоматического типа производятся для работы как с переменным, так и с постоянным напряжением.



Тепловое и токовое реле

На сегодняшний день среди аппаратов защиты электрических сетей имеется и множество разнообразных видов реле.

Тепловое реле - это одно из наиболее распространенных устройств, которое способно защищать электрические

двигатели, нагреватели, любые силовые приборы от такой проблемы, как ток перегрузки. Принцип действия данного прибора очень прост, и основан он на том, что электрический ток способен нагревать проводник, по которому он протекает. Основная рабочая деталь любого теплового реле - это биметаллическая пластина. При нагреве до определенной температуры эта пластина изгибается, чем и разрывает электрический контакт в цепи. Естественно, что нагрев пластины будет происходить до тех пор, пока не достигнет критической точки.

Кроме тепловых, имеются и другие типы аппаратов защиты, к примеру токовое реле, которое контролирует величину тока в сети. Есть также реле напряжения, которое будет реагировать на изменение напряжения в сети и реле дифференциального тока. Последний прибор - это аппарат защиты от токов утечки. Здесь важно отметить, что автоматические выключатели, как и плавкие предохранители, не могут среагировать на возникновение утечки тока, так как это значение достаточно мало. Но при этом данного значения вполне хватит, чтобы убить человека при соприкосновении с корпусом прибора, подверженного такой неисправности.

Если наблюдается большое количество электрических приборов, которые нуждаются в подключении реле дифференциального тока, то часто используются комбинированные автоматы, чтобы уменьшить габариты силового щита. Такими устройствами стали приспособления, сочетающие в себе автоматический выключатель и реле дифференциального тока - автоматы дифференциальной защиты, или же дифавтоматы. При использовании таких устройств не только снижается размер силового щита, но и сильно облегчается процесс установки аппарата защиты, что, в свою очередь, делает их более экономичными.



Характеристики теплового реле

Основная характеристика для тепловых реле - это время срабатывания, которое зависит от тока нагрузки. Другими словами, данная характеристика называется время-токовой. Если рассматривать общий случай, то до подачи нагрузки через реле будет протекать ток I_0 . В таком случае нагрев биметаллической пластины будет составлять q_0 . Во время проверки данной характеристики очень важно учитывать, из какого состояния (перегретого или холодного) осуществляется срабатывание прибора. Кроме того, при проверке данных устройств очень важно помнить, что пластина не является термически устойчивой при возникновении тока короткого замыкания.

Выбор тепловых реле осуществляется следующим образом. Номинальный ток такого защитного устройства выбирается исходя из номинальной нагрузки электрического двигателя. Выбранный ток реле должен составлять 1,2-1,3 от номинального тока электродвигателя (тока нагрузки). Другими словами, такое устройство сработает в том случае, если в течение 20 минут нагрузка будет составлять от 20 до 30 %.

Очень важно понимать, что на работу теплового реле значительное влияние оказывает окружающая температура воздуха. Из-за роста температуры окружающей среды будет уменьшаться ток срабатывания данного приспособления. Если данный показатель будет слишком сильно отличаться от номинального, то нужно будет либо провести дополнительную

плавную регулировку реле, либо же покупать новый прибор, но с учетом реальной температуры окружающей среды в рабочей зоне этого агрегата.

Чтобы уменьшить влияние окружающей температуры на величину срабатывания тока, необходимо приобретать реле с большим номинальным значением нагрузки. Для того чтобы добиться правильного функционирования теплого устройства, устанавливая его стоит в том же помещении, в котором находится и контролируемый объект. Однако нужно помнить, что реле реагирует на температуру, а потому располагать его вблизи концентрированных источников тепла запрещается. Таким источниками считаются котлы, источники отопления и прочие похожие системы и приборы.



Разновидности токов и подбор защитного устройства

Наиболее опасным является ток короткого замыкания. Основная опасность заключается в том, что он намного больше, чем нормальный пусковой ток, а также его значение может сильно отличаться в зависимости от участка цепи, где он возникает. Таким образом, при проверке аппарата защиты, который предохраняет цепь от КЗ, он должен максимально быстро производить разъединение цепи при возникновении такой проблемы. При этом он ни в коем случае не должен срабатывать при возникновении в цепи нормального значения пускового тока любого электрического прибора.

Что касается тока перегрузки, то здесь все довольно понятно. Таким током считается любое значение характеристики, которое превышает номинальное значение тока электрического двигателя. Но здесь очень важно понимать, что

не при каждом возникновении тока перегрузки защитное устройство должно осуществлять отключение контактов цепи. Это важно еще и потому, что кратковременная перегрузка как электродвигателя, так и электрической сети в некоторых случаях допустима. Здесь стоит добавить, что чем более кратковременна нагрузка, тем больших значений она может достигать. Исходя из этого становится понятно, в чем заключается основное преимущество некоторых приборов. Степень защиты аппаратов с "зависимой характеристикой" в данном случае является максимальной, так как время их срабатывания будет уменьшаться с увеличением кратности нагрузки в этот момент. Таким образом, такие приборы являются идеальными для защиты от тока перегрузки.



Если подвести небольшой итог, то можно сказать следующее. Для защиты от короткого замыкания должен быть выбран безынерционный аппарат, который будет настроен на срабатывание тока, который значительно выше пускового значения. Для защиты от перегрузки, наоборот,

коммутационный аппарат защиты должен обладать инерцией, а также зависимой характеристикой. Он должен быть подобран таким образом, чтобы он не срабатывал за то время, пока происходит нормальный пуск электрического устройства.

Вопрос 3. Релейно-контактные элементы. Изображение основных логических элементов на схемах. Минимизация логических функций, методы изображения. Бесконтактные логические элементы. Синтез логических устройств. Основные понятия, назначение и выполняемые функции программируемых контроллеров.

Релейно-контактные аппараты

Во многих системах автоматического регулирования и управления систем ТГВ переключение отдельных цепей, их замыкание и размыкание выполняется с помощью электромеханических устройств: реле, контакторов, магнитных пускателей, автоматических воздушных выключателей. Автоматическое управление с применением реле, контакторов, магнитных пускателей, а также различных механических переключающих устройств называют ***релейно-контактным управлением***. Замыкание или размыкание электрических цепей происходит в этом случае механическими контактами, которые приводятся в движение теми или иными способами.

Основу аппаратуры релейно-контактного управления составляют реле и контакторы. Применяются также магнитные пускатели – разновидности контакторов, а также автоматические воздушные выключатели – электромеханические устройства для нечастых включений и отключений электрических цепей и защиты их при коротких замыканиях и длительных перегрузках.

Электромагнитное реле – электромеханическое устройство, замыкающее или размыкающее электрические контакты под воздействием управляющего сигнала. Отечественной промышленностью выпускаются различные типы электромагнитных реле, отличающихся по конструкции, назначению и принципу действия.

Электромагнитное реле состоит из сердечника 1 (рис. 1), катушки 2, якоря 3, кронштейна 4, замыкающих и размыкающих контактов 5 и 6 и возвратной пружины 7. Выводы 8 катушки реле и контактов 9 и 10 подсоединяются к соответствующим цепям управления. При протекании тока через обмотку 2 сердечник 1 намагничивается и притягивает якорь 3. Механическое движение якоря приводит к замыканию контакта 5 и размыканию контакта 6. В результате происходит замыкание или размыкание электрической цепи. Контакты реле замыкают или размыкают преимущественно цепи управления, где ток не превышает нескольких ампер.

В зависимости от времени срабатывания контактов различают реле *мгновенного действия* и реле с *выдержкой времени*. В реле мгновенного действия контакты замыкаются (или размыкаются) практически сразу после поступления напряжения на катушку реле (или после исчезновения напряжения на катушке).

В реле с выдержкой времени контакты замыкаются или размыкаются не сразу после поступления на реле сигнала управления, а с некоторой выдержкой времени. Применение контактов реле с выдержкой времени вызвано практической необходимостью. Реле с выдержкой времени используются, например, при автоматическом управлении пуском асинхронных двигателей с фазным ротором в крановых механизмах, конвейерах и других случаях, где требуется создать выдержку времени, необходимую для работы того или иного механизма.

Изображения основных логических элементов по схемам

Электрическая схема, предназначенная для выполнения какой-либо логической операции с входными данными, называется логическим элементом. Входные данные представляются здесь в виде напряжений различных уровней, и результат логической операции на выходе — также получается в виде напряжения определенного уровня.

Операнды в данном случае подаются *в двоичной системе счисления* — на вход логического элемента поступают

сигналы в форме напряжения высокого или низкого уровня, которые и служат по сути входными данными. Так, напряжение высокого уровня — это логическая единица 1 — обозначает истинное значение операнда, а напряжение низкого уровня 0 — значение ложное. 1 — ИСТИНА, 0 — ЛОЖЬ.

Логический элемент — элемент, осуществляющий определенные логические зависимости между входными и выходными сигналами. Логические элементы обычно используются для построения логических схем вычислительных машин, дискретных схем автоматического контроля и управления.

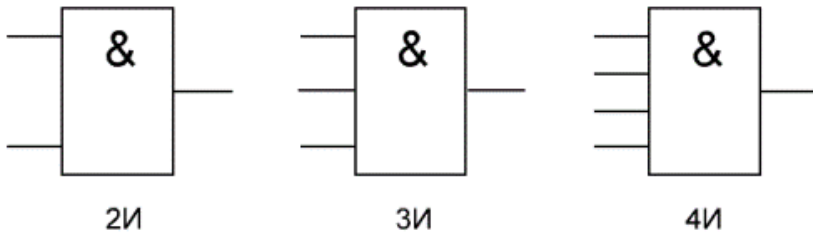
Для всех видов логических элементов, независимо от их физической природы, характерны дискретные значения входных и выходных сигналов.

Логические элементы имеют один или несколько входов и один или два (обычно инверсных друг другу) выхода. Значения «нулей» и «единиц» выходных сигналов логических элементов определяются логической функцией, которую выполняет элемент, и значениями «нулей» и «единиц» входных сигналов, играющих роль независимых переменных. Существуют элементарные логические функции, из которых можно составить любую сложную логическую функцию

В зависимости от устройства схемы элемента, от ее электрических параметров, логические уровни (высокие и низкие уровни напряжения) входа и выхода имеют одинаковые значения для высокого и низкого (истинного и ложного) состояний.

Традиционно логические элементы выпускаются в виде специальных радиодеталей — интегральных микросхем. Логические операции, такие как конъюнкция, дизъюнкция, отрицание и сложение по модулю (И, ИЛИ, НЕ, исключающее ИЛИ) — являются основными операциями, выполняемыми на логических элементах основных типов. Далее рассмотрим каждый из этих типов логических элементов более внимательно.

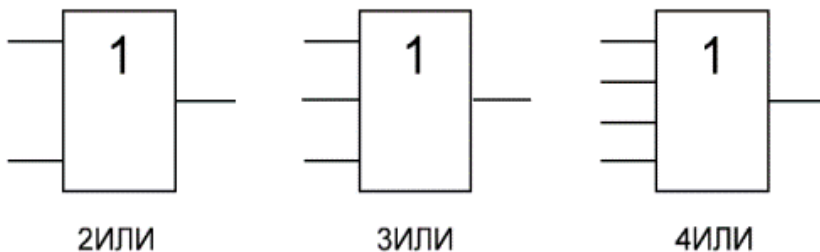
Логический элемент «И» - конъюнкция, логическое умножение, AND

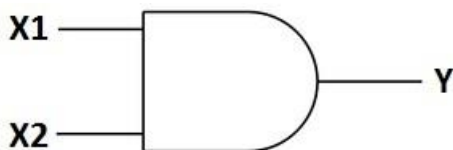


«И» - логический элемент, выполняющий над входными данными операцию конъюнкции или логического умножения.

Данный элемент может иметь от 2 до 8 (наиболее распространены в производстве элементы «И» с 2, 3, 4 и 8 входами) входов и один выход.

Условные обозначения логических элементов «И» с разным количеством входов приведены на рисунке. В тексте логический элемент «И» с тем или иным числом входов обозначается как «2И», «4И» и т. д. - элемент «И» с двумя входами, с четырьмя входами и т. д.





Вход X1	Вход X2	Выход Y
0	0	0
1	0	0
0	1	0
1	1	1

Таблица истинности для элемента 2И показывает, что на выходе элемента будет логическая единица лишь в том случае, если логические единицы будут одновременно на первом входе И на втором входе. В остальных трех возможных случаях на выходе будет ноль.

На западных схемах значок элемента «И» имеет прямую черту на входе и закругление на выходе. На отечественных схемах — прямоугольник с символом «&».

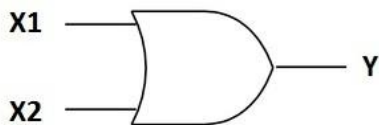
Логический элемент «ИЛИ» - дизъюнкция, логическое сложение, OR

«ИЛИ» - логический элемент, выполняющий над входными данными операцию дизъюнкции или логического сложения. Он так же как и элемент «И» выпускается с двумя, тремя, четырьмя и т. д. входами и с одним выходом. Условные обозначения логических элементов «ИЛИ» с различным количеством входов показаны на рисунке. Обозначаются данные элементы так: 2ИЛИ, 3ИЛИ, 4ИЛИ и т. д.

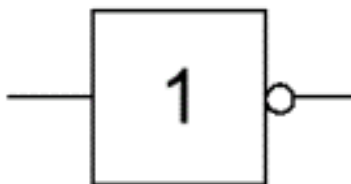
Таблица истинности для элемента «2ИЛИ» показывает, что для появления на выходе логической единицы, достаточно чтобы логическая единица была на первом входе ИЛИ на втором входе. Если логические единицы будут сразу на двух входах, на выходе также будет единица.

На западных схемах значок элемента «ИЛИ» имеет закругление на входе и закругление с заострением на выходе. На отечественных схемах — прямоугольник с символом «1».

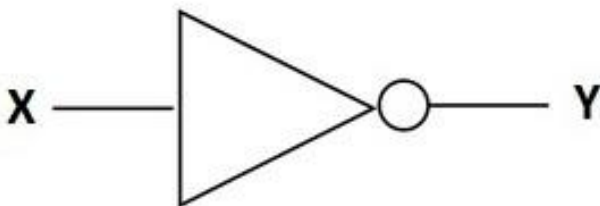
Логический элемент «НЕ» - отрицание, инвертор, N



Вход X1	Вход X2	Выход Y
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	1



НЕ



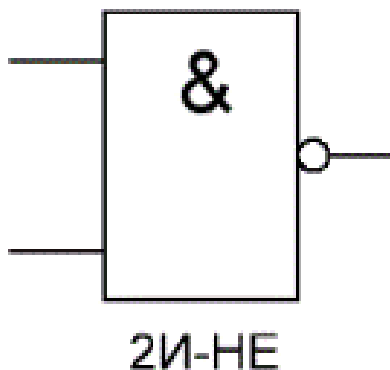
Вход X	Выход Y
0	1
1	0

«НЕ» - логический элемент, выполняющий над входными данными операцию логического отрицания. Данный элемент,

имеющий один выход и только один вход, называют еще инвертором, поскольку он на самом деле инвертирует (обращает) входной сигнал. На рисунке приведено условное обозначение логического элемента «НЕ».

Таблица истинности для инвертора показывает, что высокий потенциал на входе даёт низкий потенциал на выходе и наоборот.

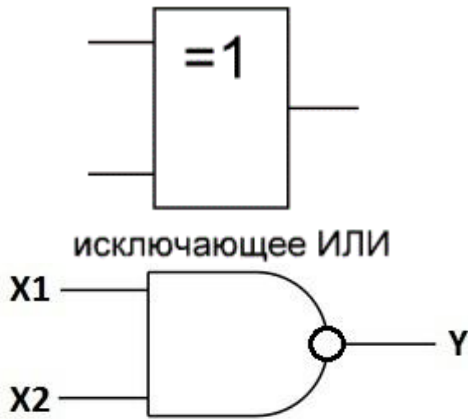
На западных схемах значок элемента «НЕ» имеет форму треугольника с кружочком на выходе. На отечественных схемах — прямоугольник с символом «1», с кружком на выходе.



Логический элемент «И-НЕ» - конъюнкция (логическое умножение) с отрицанием, NAND

«И-НЕ» - логический элемент, выполняющий над входными данными операцию логического сложения, и затем операцию логического отрицания, результат подается на выход. Другими словами, это в принципе элемент «И», дополненный элементом «НЕ». На рисунке приведено условное обозначение логического элемента «2И-НЕ».

Таблица истинности для элемента «И-НЕ» противоположна таблице для элемента «И». Вместо трех нулей и единицы — три единицы и ноль. Элемент «И-НЕ» называют еще «элемент Шеффера» в честь математика



Вход X1	Вход X2	Выход Y
0	0	1
1	0	1
0	1	1
1	1	0

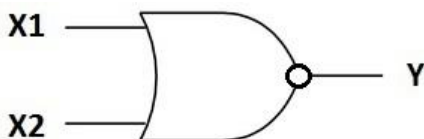
Генри Мориса Шеффера, впервые отметившего значимость этой логической операции в 1913 году. Обозначается как «И», только с кружочком на выходе.

Логический элемент «ИЛИ-НЕ» - дизъюнкция (логическое сложение) с отрицанием, NOR

«ИЛИ-НЕ» - логический элемент, выполняющий над входными данными операцию логического сложения, и затем операцию логического отрицания, результат подается на выход. Иначе говоря, это элемент «ИЛИ», дополненный элементом «НЕ» - инвертором. На рисунке приведено условное обозначение логического элемента «ИЛИ-НЕ».

Таблица истинности для элемента «ИЛИ-НЕ» противоположна таблице для элемента «ИЛИ». Высокий потенциал на выходе получается лишь в одном случае - на оба входа подаются одновременно низкие потенциалы. Обозначается как «ИЛИ», только с кружочком на выходе, обозначающим инверсию.

Логический элемент «исключающее ИЛИ» - сложение по модулю 2, XOR



Вход X1	Вход X2	Выход Y
0	0	1
1	0	0
0	1	0
1	1	0

«исключающее ИЛИ» - логический элемент, выполняющий над входными данными операцию логического сложения по модулю 2, имеет два входа и один выход. Часто данные элементы применяют в схемах контроля. На рисунке приведено условное обозначение данного элемента.

Изображение в западных схемах — как у «ИЛИ» с дополнительной изогнутой полоской на стороне входа, в отечественной — как «ИЛИ», только вместо «1» будет написано «=1».

Этот логический элемент еще называют «неравнозначность». Высокий уровень напряжения будет на выходе лишь тогда, когда сигналы на входе не равны (на одном единица, на другом ноль или на одном ноль, а на другом единица) если даже на входе будут одновременно две единицы, на выходе будет ноль — в этом отличие от «ИЛИ». Данные элементы логики широко применяются в сумматорах.

Минимизация логической функций, методы изображения

Сложность логической функции, а отсюда сложность и стоимость реализующей ее схемы (цепи), пропорциональны числу логических операций и числу вхождений переменных или их отрицаний.

В принципе любая логическая функция может быть упрощена непосредственно с помощью аксиом и теорем логики, но, как правило, такие преобразования требуют громоздких выкладок.

К тому же процесс упрощения булевых выражений не является алгоритмическим. Поэтому более целесообразно использовать специальные алгоритмические методы минимизации, позволяющие проводить упрощение функции более просто, быстро и безошибочно.

К таким методам относятся, например, метод Квайна, метод карт Карно, метод испытания импликант, метод импликантных матриц, метод Квайна-Мак-Класки и др. Эти методы наиболее пригодны для обычной практики, особенно минимизация логической функции с использованием карт Карно.

Метод карт Карно сохраняет наглядность при числе переменных не более шести. В тех случаях, когда число аргументов больше шести, обычно используют метод Квайна-Мак-Класки.

В процессе минимизации той или иной логической функции, обычно учитывается, в каком базисе эффективнее будет реализовать ее минимальную форму при помощи электронных схем.

Минимизация логических функций при помощи карт Карно

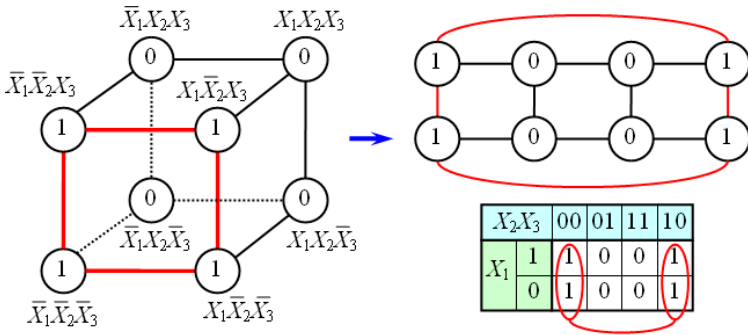
Карта Карно — графический способ минимизации переключательных (булевых) функций, обеспечивающий относительную простоту работы с большими выражениями и устранение потенциальных гонок. Представляет собой операции попарного неполного склеивания и элементарного поглощения. Карты Карно рассматриваются как перестроенная

соответствующим образом таблица истинности функции. Карты Карно можно рассматривать как определенную плоскую развертку n-мерного булева куба.

Карты Карно были изобретены в 1952 Эдвардом В. Вейчем и усовершенствованы в 1953 Морисом Карно, физиком из «Bell Labs», и были призваны помочь упростить цифровые электронные схемы.

В карту Карно булевы переменные передаются из таблицы истинности и упорядочиваются с помощью кода Грея, в котором каждое следующее число отличается от предыдущего только одним разрядом.

Основным методом минимизации логических функций, представленных в виде СДНФ или СКНФ является операция попарного неполного склеивания и элементарного поглощения. Операция попарного склеивания осуществляется между двумя термами (членами), содержащими одинаковые переменные, вхождения которых (прямые и инверсные) совпадают для всех переменных, кроме одной. В этом случае все переменные, кроме одной, можно вынести за скобки, а оставшиеся в скобках прямое и инверсное вхождение одной переменной подвергнуть склейке.



$$\overline{X}_1 X_2 X_3 X_4 \vee \overline{X}_1 X_2 \overline{X}_3 X_4 = \overline{X}_1 X_2 X_4 (X_3 \vee \overline{X}_3) = \overline{X}_1 X_2 X_4.$$

Например:

Возможность поглощения следует из очевидных равенств

$$A \vee \overline{A} = 1; A\overline{A} = 0.$$

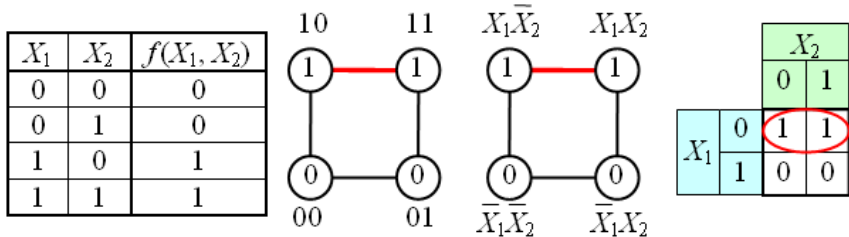
Таким образом, главной задачей при минимизации СДНФ и СКНФ является поиск термов, пригодных к склейке с последующим поглощением, что для больших форм может

оказаться достаточно сложной задачей. Карты Карно предоставляют наглядный способ отыскания таких термов.

Как известно, булевы функции N переменных, представленные в виде СДНФ или СКНФ могут иметь в своём составе $2N$ различных термов.

Все эти члены составляют некоторую структуру, топологически эквивалентную N -мерному кубу, причём любые два терма, соединённые ребром, пригодны для склейки и поглощения.

На рисунке изображена простая таблица истинности для функции из двух переменных, соответствующий этой таблице 2-мерный куб (квадрат), а также 2-мерный куб с обозначением членов СДНФ и эквивалентная таблица для группировки термов:



В случае функции трёх переменных приходится иметь дело с трёхмерным кубом. Это сложнее и менее наглядно, но технически возможно. На рисунке в качестве примера показана таблица истинности для булевой функции трёх переменных и соответствующий ей куб.

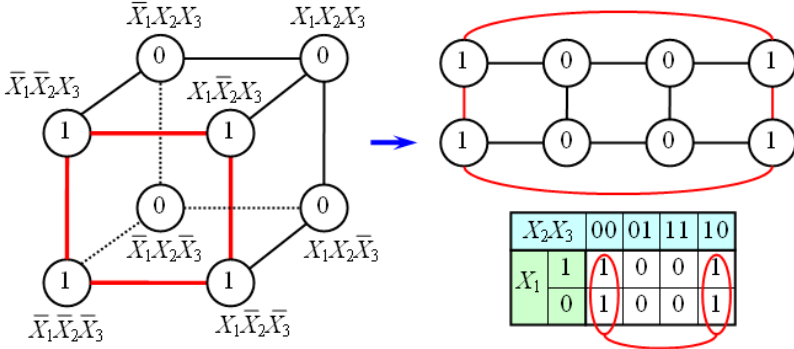
Как видно из рисунка, для трёхмерного случая возможны более сложные конфигурации термов. Например, четыре терма, принадлежащие одной грани куба, объединяются в один терм с поглощением двух переменных:

$$\overline{X_1}\overline{X_2}\overline{X_3} \vee \overline{X_1}\overline{X_2}X_3 \vee \overline{X_1}X_2\overline{X_3} \vee \overline{X_1}X_2X_3 =$$

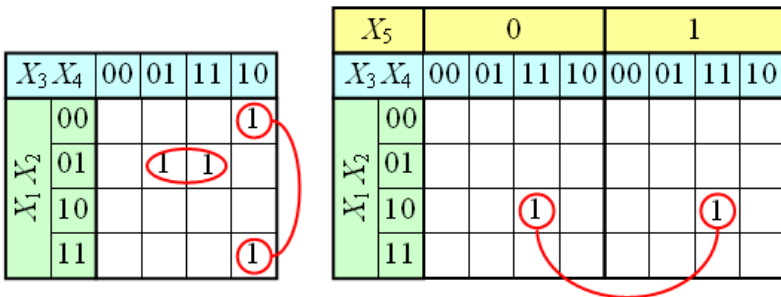
В общем случае можно сказать, что $2K$ термов, принадлежащие одной K -мерной грани гиперкуба, склеиваются в один терм, при этом поглощаются K переменных.

Для упрощения работы с булевыми функциями большого числа переменных был предложен следующий удобный приём. Куб, представляющий собой структуру термов,

разворачивается на плоскость как показано на рисунке. Таким образом появляется возможность представлять булевы функции с числом переменных больше двух в виде плоской таблицы. При этом следует помнить, что порядок кодов термов в таблице (00 01 11 10) не соответствует порядку следования двоичных чисел, а клетки, находящиеся в крайних столбцах таблицы, соседствуют между собой.



Аналогичным образом можно работать с функциями четырёх, пяти и более переменных. Примеры таблиц для $N=4$ и $N=5$ приведены на рисунке. Для этих таблиц следует помнить, что соседними являются клетки, находящиеся в соответственных клетках крайних столбцов и соответственных клетках верхней и нижней строки. Для таблиц 5 и более переменных нужно учитывать также, что квадраты 4×4 виртуально находятся друг над другом в третьем измерении, поэтому соответственные клетки двух соседних квадратов 4×4 являются соседними, и соответствующие им термы можно склеивать.



Карта Карно может быть составлена для любого количества переменных, однако удобно работать при количестве переменных не более пяти. По сути Карта Карно — это таблица истинности составленная в 2-х мерном виде. Благодаря использованию кода Грея в ней верхняя строка является соседней с нижней, а правый столбец соседний с левым, т.о. вся Карта Карно сворачивается в фигуру тор (бублик). На пересечении строки и столбца проставляется соответствующее значение из таблицы истинности.

После того как Карта заполнена, можно приступить к минимизации.

Если необходимо получить минимальную ДНФ, то в Карте рассматриваем только те клетки которые содержат единицы, если нужна КНФ, то рассматриваем те клетки которые содержат нули.

Сама минимизация производится по следующим правилам (на примере ДНФ):

1. Объединяем смежные клетки содержащие единицы в область, так чтобы одна область содержала 2^n (n целое число = $0 \dots \infty$) клеток (помним про то что крайние строки и столбцы являются соседними между собой), в области не должно находиться клеток содержащих нули;
2. Область должна располагаться симметрично оси(ей) (оси располагаются через каждые четыре клетки);
3. Не смежные области расположенные симметрично оси(ей) могут объединяться в одну;
4. Область должна быть как можно больше, а кол-во областей как можно меньше;
5. Области могут пересекаться;
6. Возможно несколько вариантов накрытия.

Бесконтактные логические элементы

Бесконтактные логические элементы используются при реализации различных логических законов управления и для осуществления блокировок и защит в ЭП. Они долговечны, так как не имеют движущихся механических частей, отличаются высоким быстродействием, небольшими массой, габаритными размерами, энергопотреблением и малой чувствительностью к

вредному влиянию окружающей среды. Наибольший эффект их использования достигается при создании схем управления средней сложности, когда число контролируемых и преобразуемых сигналов составляет несколько десятков.

Логический элемент выполняет те же функциональные операции, что и электромагнитное контактное реле. Он имеет два устойчивых состояния - "включено" и "выключено", которые обозначаются соответственно цифрами 1 и 0.

Для электромагнитного реле цифра 1 обозначает, что его контакт замкнут, а цифра 0 - разомкнут. Для бесконтактного логического элемента цифра 1 указывает на наличие напряжения на его выходе, а цифра 0 - на отсутствие.

Логический элемент НЕ (см. рис. 1,а) выполняет операцию отрицания (инвертирования). При наличии входного сигнала, т. е. при $X = 1$, выходной сигнал отсутствует ($Y = 0$), а при отсутствии входного сигнала ($X = 0$) выходной сигнал $Y = 1$.

Логический элемент ИЛИ. Сигнал на выходе этого элемента появляется при наличии хотя бы одного входного сигнала X_1 или X_2 (рис. 1,б). Операция ИЛИ может выполняться для любого числа входных сигналов.

Логический элемент И. Сигнал на выходе этого элемента $Y = 1$ (рис. 1, в) появляется только в том случае, когда оба входных сигнала равны 1. В остальных случаях $Y = 0$.

Логический элемент ИЛИ - НЕ (рис. 1, г). В этом более сложном элементе при наличии хотя бы одного сигнала на входе ($X_1, X_2 = 1$) сигнал на выходе $Y = 0$, а при отсутствии входных сигналов ($X_1, X_2 = 0$) выходной сигнал $Y = 1$.

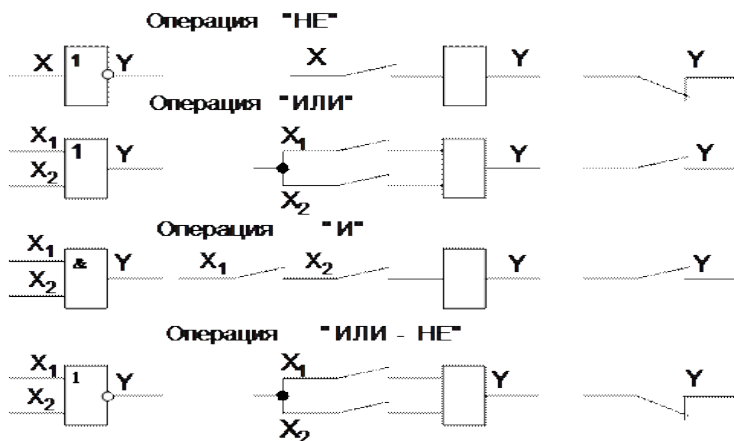


Рисунок 7 – Логические операции

Синтез логических устройств

Любая логическая схема без памяти полностью описывается таблицей истинности. Эта таблица является исходной информацией для синтеза схемы на основе логических элементов «И», «ИЛИ», «НЕ».

Для разработки требуемого цифрового устройства сначала на основе таблицы истинности записывают его логическое выражение. Затем с целью упрощения цифрового устройства минимизируют его логическое выражение и далее разрабатывают схему, реализующую полученное логическое выражение.

Логические выражения можно получить двумя способами:

- на основе совершенной дизъюнктивной нормальной формы (СДНФ);
- на основе совершенной конъюнктивной нормальной формы (СКНФ).

Совершенная дизъюнктивная нормальная форма (СДНФ)

Функция представляется суммой групп. Каждая группа состоит из произведения, в которую входят все переменные.

Например:

$$f(x_1, x_2, x_3) = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 + x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 + x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$$

Совершенная конъюнктивная нормальная форма (СКНФ)

Функция представляется произведением групп. Каждая группа состоит из суммы, в которую входят все переменные.

Например:

$$f(x_1, x_2, x_3) = (x_1 + x_2 + x_3) \cdot (x_1 + x_2 + x_3) \cdot (x_1 + x_2 + x_3)$$

Если схема имеет несколько выходов, то каждый выход описывается своей функцией. Такая система функций называется системой собственных функций. СДНФ составляется на основе таблицы истинности по следующему правилу: для каждого набора переменных, при котором функция равна 1, записывается произведение, в котором с отрицанием берутся переменные, имеющие значение «0».

Пример:

Таблица 2.1-Заданная таблица истинности

x1	x2	x3	y
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	1

СДНФ:

$$y = f(x_1, x_2, x_3) = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 + x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 + x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 + x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$$

СКНФ составляется на основе таблицы истинности по правилу: для каждого набора переменных, при котором функция равна 0, записывается сумма, в которой с отрицанием берутся переменные, имеющие значение 1.

Таблица 2.2-Заданная таблица истинности

x1	x2	x3	y
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	1

СКНФ:

$$Y = f(x1,x2,x3) = (x1+x2+x3) \cdot (x1+x2+x3) \cdot (x1+x2+x3) \cdot (x1+x2+x3)$$

Основные понятия, назначения и выполняемые функции программируемых контроллеров

Любой механизм, способный выполнять определенные операции в автоматическом режиме, в свой состав включает логический контроллер – модуль, который способен обеспечить логику работы механизма. Проще говоря, мозг механизма – это контроллер. Ну и соответственно, чем сложнее механизм, тем «умнее» должен быть мозг, то есть контроллер.

Техническая реализация контроллеров может быть самая различная. Это не обязательно электронное устройство. Это может быть как механическая система, так и пневматическая, гидравлическая, релейно-контакторная система управления, компьютерная программа или электронная система.

В случае, когда контроллер выпускается серийно, стоимость его проектирования и изготовления снижается, за счет большего количества выпускаемых единиц, на которые делится стоимость проектирования. В случае единичных выпусков контроллеров, стоимость их проектирования существенно возрастает, что сказывается на цене.

При создании контроллеров использующих в своем составе микросхемы с «жесткой» логикой, а также реле, практически невозможно заставить выполнять другой алгоритм работы без существенных переделок. Это их существенный минус. Возможностью перепрограммирования на другой алгоритм без переделок в самой структуре контроллера



обладают программируемые логические контроллеры ПЛК. Идея их создания появилась около 40 лет назад сразу после появления микропроцессоров.

Физически типичный программируемый логический контроллер ПЛК представляет из себя блок с определенным количеством входов и выходов, которые необходимы для подключения различных датчиков, а также исполнительных органов, как это показано ниже:

Вся логика управления описывается с помощью микрокомпьютерного ядра. Одинаковые абсолютно ПЛК могут выполнять абсолютно различные функции. При этом нет абсолютно никакой необходимости вносить изменения в аппаратную часть работы ПЛК, достаточно сменить программу управления.

Главной задачей прикладного программирования ПЛК есть только реализация алгоритма управления конкретным механизмом. Все входы и выходы ПЛК опрашивает автоматически, вне зависимости от способов их физического соединения. Данная работа выполняется непосредственно системным обеспечением. Для удобства программирования и облегчения жизни программисткам, а также производителям различного оборудования языки программирования стандартизованы. Благодаря стандартизации языков программирования прикладная программа становится переносимой, то есть такую программу можно использовать в любом ПЛК поддерживающем данный стандарт.

Программируемый контроллер – дискретный, программно управляемый автомат, у которого входы с помощью различного рода датчиков подключаются к выходам объекта управления, а выходы подключают к различным

исполнительным механизмам. Обработывая значения входных сигналов по определенным алгоритмам, ПЛК формирует выходные сигналы, которые через исполнительные механизмы влияют непосредственно на объект управления.

ПЛК предназначен для работы в режиме реального времени и должен быть доступный для программирования специалистом в области информатики.

Изначально ПЛК предназначались для управления последовательными логическими процессами. Отсюда пошло и название – «логический». Современные же ПЛК помимо простых логических операций способны выполнять целый ряд функций, таких как – управление приводами, цифровая обработка различных сигналов, функции операторского управления и так далее.

Они могут иметь самую разнообразную конструкцию. ПЛК впервые применили в США для автоматизации сборного конвейерного производства автомобилей (1969 год фирма Модикон). Сегодня ПЛК работают практически во всех отраслях промышленности, таких как нефтеперерабатывающая, химическая, легкая, машиностроение, а также транспорт. Сферы применения ПЛК значительно шире сферы применения персональных компьютеров ПК, хотя их популярность значительно ниже. Они усиленно трудятся на благо человечества, так сказать «за сценой», и их работа совершенно не заметна для большого количества людей на нашей планете.

Вопрос 4. Требования, предъявляемые к усилителям. Принцип действия и назначение. Магнитные усилители. Магнитные усилители с обратной связью, в релейном режиме. Быстродействующие магнитные усилители. Сравнительная оценка серийно выпускаемых усилителей. Вспомогательные элементы усилителей. Понятие об источниках питания автоматики. Виды источников питания, их свойства и назначение. Стабилизаторы напряжения, тока и давления, их виды, свойства и применение. Понятие об операционных усилителях. Их ТО и ремонт.

Требования предъявляемые к усилителям:

В усилителях электрических сигналов все схемные решения предназначены для того, чтобы усилить соответствующий параметр в электрической цепи. Основными параметрами электрической цепи, как известно, являются ток, напряжение и мощность. Любой усилитель является усилителем мощности независимо оттого, что усиливается — ток или напряжение. При рассмотрении схмотехнических решений для усилителей основное внимание мы уделяли вопросам построения одиночных каскадов — способам электропитания, обеспечения рабочего режима, стабилизации и компенсации положения рабочей точки, схемам включения усилительных элементов, увеличению коэффициента усиления, влиянию обратных связей и т.д. Анализируя все схемные решения, можно сделать заключение о том, что каждый каскад решает определенные задачи в процессе усиления сигнала: основная задача — усиление, согласование входных и выходных каскадов, обработка фазового соотношения выходного сигнала по отношению к входному, искажение сигнала и т.д.

Если рассматривать отдельный каскад как самостоятельное устройство, то видно, что каскад может решить только отдельные задачи, но не решает их в комплексе. Это связано с тем, что каждая схема обладает определенными схмотехническими решениями, в которых иногда возникают противоречия при решении разных задач. Для комплексного решения задач в процессе усиления строятся многокаскадные усилители.

Многокаскадный усилитель — сложное электронное устройство, состоящее из отдельных каскадов, каждый из которых решает определенные задачи в процессе усиления электрического сигнала.

Основными составляющими многокаскадных усилителей являются: входное и выходное устройства, предварительный (входной или проходной) усилитель, оконечный (выходной) усилитель (рис. 9.98).



Рис. 9.98. Структурная схема многокаскадного усилителя

Входное устройство служит для передачи сигнала от источника сигнала (ИС) во входной каскад. Его применяют, когда последовательное подключение источника сигнала к усилителю невозможно или нецелесообразно. Входное устройство в виде трансформатора применяется для согласования выходного сопротивления ИС и входного сопротивления первого каскада усилителя, что позволяет также получить наибольшее усиление сигнала на выходе усилителя. Если сопротивления ИС и входного каскада равны между собой, то устраняется отражение сигнала во входную цепь, отсутствуют дополнительные частотные, фазовые и амплитудные изменения.

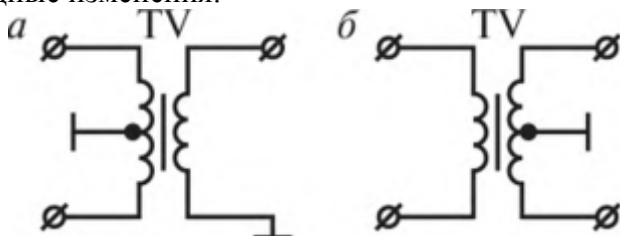


Рис. 9.99. Схема включения симметрирующих трансформаторов: *a* — на входе; *б* — на выходе

Входное устройство используют для преобразования несимметричной входной цепи усилителя в симметричную с помощью симметрирующего трансформатора (рис. 9.99).

Симметрированием цепи называют превращение входной цепи из несимметричной в симметричную.

В симметричной цепи оба провода выходной цепи не заземлены и имеют равные и противоположные по знаку по отношению к земле напряжения выходного сигнала. Симметрирование позволяет существенно снизить влияние посторонних источников помех на цепь.

Входное устройство используют для исключения прохождения постоянной составляющей тока или напряжения смещения первого усилительного каскада в источник сигнала и попадания постоянной составляющей от источника сигнала на вход первого каскада (рис. 9.100).

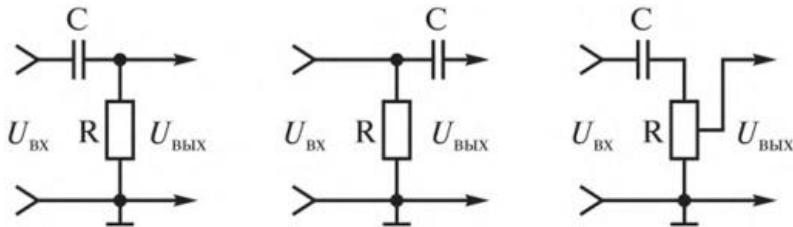


Рис. 9.100. Схемы RC-цепей как входные устройства (цепи связи) в усилителях для исключения постоянной составляющей

Предварительный усилитель состоит из одного или нескольких каскадов усиления. Каскады предварительного усиления (КПУ) повышают уровень сигнала до значения, при котором обеспечивается нормальная работа оконечного каскада и заданная мощность на его выходе. Основная особенность КПУ — работа при малых уровнях входного сигнала. Качество КПУ определяются коэффициентом усиления по напряжению и току, а выходная мощность и КПД не имеют большого значения. Кроме большого коэффициента усиления, КПУ должен иметь высокие качественные показатели (минимальные частотные, фазовые и нелинейные искажения усиленного сигнала) работы. Для этого схемы КПУ должны содержать минимальное число реактивных элементов (трансформаторы, конденсаторы). Малые нелинейные искажения достигаются при работе усилительного элемента (УЭ) в режиме класса А.

Каскад предварительного усилителя, связанный с источником сигнала, часто называют входным каскадом. Во входном каскаде, который работает от источника питания с малым внутренним сопротивлением, транзисторы целесообразно включать по схеме с ОБ (ОЭ) с малым входным сопротивлением, однако входное сопротивление предварительного усилителя должно быть достаточно большим, чтобы не шунтировать источник питания. Для этой цели в эмиттерную или в базовую цепь включают резистор.

Межкаскадная связь в многокаскадных предварительных усилителях в дискретном исполнении применяется резисторно-емкостная, а в интегральном исполнении — непосредственная.

Для входных и последующих КПУ чаще применяются одноктактные усилители, но в интегральной схемотехнике используются и двухтактные балансные дифференциальные каскады, которые обеспечивают высокий коэффициент усиления. Учитывая, что число каскадов предварительного усиления может быть несколько, необходимо согласовать выходное сопротивление предыдущего каскада с входным сопротивлением последующего каскада для пропускания сигнала без затухания. Все последующие каскады предварительного усиления называют проходными каскадами усиления.

Оконечный (выходной) каскад усилителя — это каскад, с которого сигнал, усиленный до заданной мощности или напряжения, поступает в нагрузку. Как и в предварительных каскадах усиления, выбор оптимального варианта определяется теми же основными требованиями, которым должен удовлетворять данный каскад. Соответствие основным требованиям является главным критерием выбора того или иного варианта схемы усилителя.

Рассмотрим наиболее важные требования, которые предъявляются к работе окончного каскада:

- 1. Высокий КПД. Для этого необходимо снизить рассеиваемую мощность на УЭ путем согласования выходного сопротивления УЭ с сопротивлением нагрузки. При отсутствии согласования значительная часть мощности будет теряться на УЭ и весьма малая его часть поступит в нагрузку.
- 2. Максимальная мощность в нагрузке. Это достигается при равенстве выходного сопротивления УЭ и нагрузки. Особенно это важно при низкоомной нагрузке, когда нагрузка включена параллельно с усилительным элементом. Следовательно, в каждом отдельном случае выходное сопротивление рассчитывается в зависимости от нагрузки. Наибольшая отдаваемая мощность в выходном каскаде происходит при

низком выходном сопротивлении, т.е. выходное сопротивление меньше, чем сопротивление нагрузки.

- 3. Минимальные искажения. Это достигается выбором типа УЭ, способа включения УЭ, режима работы, вида межкаскадных связей. Выбор УЭ определяется допустимой мощностью рассеивания, максимальным током и напряжением, а также предельной частотой, на которой может работать усилительный элемент. При небольших мощностях применяют режим класса *A*, а в усилителях большой мощности применяют режимы классов *B*, *AB* или *C*. Искажения в схеме можно снизить путем уменьшения числа реактивных элементов — *L* и *C* и выбором режима работы класса *A*.

Выходные (оконечные) каскады могут быть однотактными и двухтактными каскадами. В зависимости от вида межкаскадной связи выходные каскады подразделяются на резисторные, трансформаторные, емкостные, а при отсутствии указанных элементов связи — на бестрансформаторные. Каскады, работающие на активную нагрузку, относят к усилителям мощности, а каскады с нагрузкой емкостного характера — к каскадам усиления напряжения.

Выходное устройство, обеспечивающее согласование выхода выходного (оконечного) каскада с нагрузкой, применяется, когда непосредственное подключение нагрузки к выходу каскада невозможно или нецелесообразно. В таких случаях на выходах используются трансформаторы, которые создают малое сопротивление на выходе усилителя и симметрируют цепь (см. рис. 9.99).

Принцип действия усилителя:

Усилительные устройства предназначены для усиления переменных сигналов и, в частности, синусоидальных сигналов, подаваемых на вход усилителя.

Наличие одного только усилительного элемента (биполярного или полевого транзистора) без других элементов (резисторов, конденсаторов и т.д.) не может обеспечить усиление переменного сигнала. Связано это с тем обстоятельством, что усилительный элемент требует определенной полярности на всех электродах, т.е. он может преобразовывать сигналы только

пульсирующие (одной полярности). Следовательно, усилительное устройство должно содержать элементы, позволяющие преобразовывать переменные сигналы на входе усилительного устройства в пульсирующие сигналы на электродах усилительного элемента. Такими элементами являются источник питания (с постоянной ЭДС E_K и резисторы R_K и R_6), задающие определенные постоянные потенциалы на электродах усилительного элемента, т.е. режим работы по постоянному току, так называемую рабочую точку на ВАХ транзистора. Переменный электрический сигнал, подаваемый на вход, складывается с постоянной составляющей от источника питания и вызывает изменение потенциалов необходимой полярности на всех электродах усилительного элемента. В результате на выходе также будет получен усиленный переменный сигнал.

Для обеспечения динамического режима работы усилительного элемента последовательно с ним в цепь постоянного источника включается нагрузочный резистор R_K . При этом в соответствии со 2-м законом Кирхгофа изменение напряжения на этом резисторе будет иметь такой же характер как и на усилительном элементе, но только противоположной полярности. Включение источника питания E_K и нагрузочного резистора R_K к биполярному транзистору показано на рис. 2.4.

Значения постоянных напряжений $U_{кэ0}$ и $U_{бэ0}$ и тока $I_{б0}$ транзистора в режиме покоя определяются с помощью, приведенных на рис.2.5, статических переходных характеристик.

Следует отметить, что поскольку параметры транзисторов сильно зависят от температуры, положение рабочей точки (Р.Т.) может сильно колебаться при изменениях температуры. Поэтому в реальных схемах усилителей должна быть предусмотрена температурная стабилизация положения рабочей точки.

2.1.4. Усилители напряжения с общим эмиттером
(Усилительный каскад с коллекторной нагрузкой)

Одним из наиболее распространенных усилительных каскадов на биполярных транзисторах является каскад с коллекторной нагрузкой. Транзистор в этом усилительном каскаде соединен по схеме с общим эмиттером, поэтому этот каскад часто называют усилительным каскадом с общим эмиттером (УОЭ), нагрузочный резистор R_K включен в коллекторную цепь транзистора. Полярность источника питания с ЭДС E_K по отношению к коллекторной цепи зависит от типа транзистора. На рис.2.6 полярность источника питания соответствует транзистору типа n-p-n.

Усилитель (рис.2.6) включает в себя все элементы структурной схемы (рис.2.1): основными элементами усилителя являются источник питания E_K , усилительный элемент в виде n-p-n транзистора Т и коллекторное сопротивление R_K ; входную цепь с источником сигнала E_G и выходную – с нагрузочным устройством R_H . Резисторы R_6 ($R_6' // R_6''$) и R_K задают режим работы усилительного элемента Т по постоянному току. Разделительные конденсаторы C_1 и C_2 исключают протекание постоянного тока от E_G и R_H к транзистору, тем самым обеспечивают независимый режим работы по постоянному току усилительного элемента и защищают транзистор от перегрузок в случаях аварийной работы E_G и R_H .

Принцип работы УОЭ (рис.2.6).

Пусть входной сигнал отсутствует $u_{вх}=0$. Через элементы усилителя протекает постоянный ток: $I_{б0}$ - ток покоя базовой цепи транзистора, $I_{к0}$ -ток покоя коллекторной цепи транзистор, вызывающий между электродами транзистора падение напряжения покоя $U_{бэ0}$ и $U_{кэ0}$.

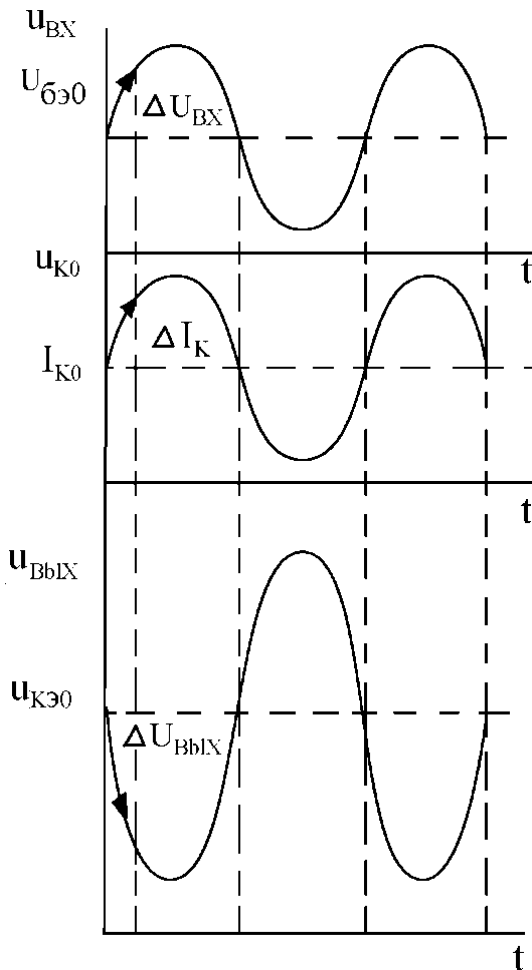


Рис.2.7. Временная диаграмма изменений токов и напряжений в усилительном каскаде

Важно правильно

обеспечить режим работы усилителя по постоянному току, т.е. Р.Т. ($I_{б0}$, $I_{к0}$, $U_{кэ0}$, $U_{бэ0}$), так чтоб усилитель функционировал на линейном участке амплитудной характеристики. Это обеспечивается выбором $R_к$ и $R_б$. На практике $R_к$ выбирают равным (1÷10) кОм. $R_б$ согласно

$$R_б = \frac{E_к - U_{бэ0}}{I_{б0}}$$

закона Кирхгофа можно определить .

Номинальные значения $I_{б0}$, $I_{к0}$, $U_{кэ0}$, $U_{бэ0}$ выбирают по входным и выходным характеристикам транзисторов, которые приводятся в справочниках, или по переходным характеристикам (рис.2.5).

В соответствии с зависимостью $U_{кэ}=f(U_{бэ})$ на рис.2.5 напряжение $U_{кэ}$ начинает уменьшаться(точка В') при увеличении напряжения $U_{бэ}$, с того значения, когда начинает расти ток $I_{б}$ ($I_{б}=f(U_{бэ})$). Объясняется это тем, что увеличение $I_{б}$ вызывает рост тока $I_{к}$ через транзистор. Следовательно, увеличивается напряжение на резисторе $R_{к}$ по закону Ома и в соответствии со 2-м законом Кирхгофа уменьшается напряжение на коллекторе транзистора $U_{кэ}$:

$$U_{кэ} = E_{к} - I_{к} R_{к}$$

(участок ВА характеристики рис. 2.5). Этот линейный участок является рабочим и определяет интервал колебаний переменных напряжений на входе и выходе усилителя относительно постоянных значений $U_{кэ0}$ и $U_{бэ0}$. Таким образом, эти значения $U_{бэ0}$ и $U_{кэ0}$ лежат в середине линейного участка, они обозначены Р.Т., т.е. это рабочая точка усилителя. По статической характеристике $I_{б}=f(U_{бэ})$ определяется ток покоя базы $I_{б0}$, ему соответствует ток покоя коллектора $I_{к0}=\beta I_{б0}$. Совокупность значений $I_{б0}$, $I_{к0}$, $U_{кэ0}$, $U_{бэ0}$ транзистора задаёт режим покоя. Накладывая на указанные постоянные составляющие переменные составляющие от входного сигнала в пределах участка АВ, получим колебания напряжений на электродах транзистора, соответствующие линейному режиму.

Работа усилительного каскада может быть пояснена с помощью рис.2.7. Пусть напряжение на входе усилителя возрастает на величину $\Delta U_{вх}$, это приведет к увеличению напряжения $\Delta U_{бэ}$, входного базового тока $I_{б}$ и тока коллектора транзистора $I_{к} = \beta \cdot I_{б}$. Сопротивление коллектор-эмиттерного перехода транзистора падает и, согласно закона Ома, уменьшается напряжение $U_{кэ}=U_{вых}$. Сказанное можно записать с помощью условной

диаграммы:

$$\Delta U_{вх} \uparrow \rightarrow \Delta U_{бэ} \uparrow \rightarrow \Delta I_{б} \uparrow \rightarrow \Delta I_{к} \uparrow \rightarrow \Delta U_{кэ} \downarrow \rightarrow \Delta U_{вых} \downarrow$$

(где знак \uparrow - величина возрастает, \downarrow - величина уменьшается).

Если входное напряжение будет изменяться по

синусоидальному закону $u_{вх} = U_{вх} \sin \omega t$, то выходное напряжение также имеет синусоидальную форму

$u_{вых} = U_{вых} \sin(\omega t + 180^\circ)$ (это хорошо иллюстрирует временная диаграмма работы усилителя (рис.2.7)). Следует заметить, что усилитель меняет фазу сигнала на 180° (см. рис. 2.7), это означает, что УОЭ является инвертирующим.

Благодаря тому, что ток коллектора во много раз превышает ток базы ($\beta=20 \div 200$), а сопротивление R_k больше $R_{вх}$, выходное напряжение усилительного каскада с коллекторной нагрузкой получается во много раз больше входного напряжения, а коэффициент усиления по напряжению УОЭ составляет $K_u = 10 \div 100$.

Для температурной стабилизации усилительного каскада, т.е. фиксации положения рабочей точки на линейном участке характеристики, в цепь эмиттера включают резистор $R_э$, шунтированный конденсатором $C_э$ (рис.2.6). Повышение температуры окружающей среды приводит к увеличению токов транзистора $I_{б0}$ и $I_{к0}$ ($I_{к0} \approx I_{э0}$) и изменению положения РТ (рис.2.5). Режим работы по постоянному току входной цепи УОЭ $R_э'' - T - R_э'$ определяется по 2-му закону Кирхгофа

$$U_{бэ0} = \frac{E_k R_э''}{R_э'' + R_э'} - R_э' I_{э0}$$

, поэтому увеличение $I_{э0}$, согласно этому уравнению, приводит к уменьшению $U_{бэ0}$, т.к. первое слагаемое уравнения постоянно и не зависит от T °С. Уменьшение $U_{бэ0}$ закрывает транзистор Т и уменьшает $I_{б0}$ до прежней величины. Сказанное отражается с помощью условной диаграммы:

$$\Delta T^\circ C \uparrow \rightarrow I_{б0} \uparrow \rightarrow I_{к0} \approx I_{э0} \uparrow \rightarrow U_{бэ0} \downarrow \rightarrow U_{б0} \downarrow$$

Однако включение резистора $R_э$ уменьшает K_u усилителя, т. к. часть полезного (усиливаемого сигнала) $u_{вх}$ выделяется на

нем и не усиливается транзистором (уравнение для входной цепи усилителя по переменному току запишется $u_{бэ} = u_{вх} - R_э i_э$). Чтобы этого избежать резистор $R_э$ шунтируется конденсатором $C_э$, емкость которого выбирается таким образом, чтобы для всех частот усиливаемого переменного сигнала его сопротивление было много меньше $R_э$, тогда переменная составляющая тока эмиттера проходит через конденсатор $C_э$, почти не вызывая падения напряжения на резисторе $R_э$. В результате падение напряжения на резисторе $R_э$ от постоянной составляющей тока практически не меняется, а, следовательно, переменное напряжение на входе каскада оказывается равным переменному напряжению между базой и эмиттером $u_{вх} \approx u_{бэ}$, т.е. усиливаемое напряжение не меняется за счет цепочки $R_э C_э$ (стабильно при изменении температуры).

Приведенная схема усилительного каскада хорошо стабилизирована в диапазоне температур от -60°C до $+60^\circ\text{C}$, при этом значение сопротивления $R_э$ выбирают наименьшим по величине (обычно $R_э \approx (10 \div 100)$ Ом), чтобы обеспечить минимальные энергетические потери.

Характеристики УОЭ:

Входное сопротивление $R_{вх} = h_{11} = n \cdot 100 \text{ Ом}$ ($n = 1, 2, \dots$); выходное сопротивление $R_{вых} \approx R_k = (1-10) \text{ кОм}$; коэффициент усиления по

напряжению $K_u \approx \beta R_k / R_{вх} \approx 10-200$;

$$C_э = \frac{10 \div 20}{2\pi f R_э} .$$

Анализ работы усилительного каскада проводится по статическим входным и выходным характеристикам транзистора графоаналитическим методом. Для коллекторной цепи усилительного каскада (рис.2.6) в соответствии со вторым законом Кирхгофа можно записать следующее уравнение электрического состояния:

$$E_k = U_k + R_k I_k .$$

На выходных статических характеристиках биполярного транзистора строится линия нагрузки, т.е. вольтамперная характеристика коллекторного резистора R_k , получаемая из предыдущего выражения (рис. 2.8а).

$$U_k = E_k - R_k I_k .$$

Рис. 2.8 . Определение рабочего режима усилителя с помощью входных (а)

и выходных (б) статических характеристик транзистора

Такое положение рабочей точки В на линии нагрузки, когда отрезки АВ и ВС равны, обусловлено стремлением получить высокую степень линейности режима усиления при минимальном потреблении мощности каскадом в режиме покоя. Снизу участок линейного усиления на линии нагрузки ограничен минимально допустимым током коллектора (точка С), соответствующий ему минимальный ток базы (точка С' на рис. 2.8б) определяется началом линейного участка входной характеристики. Все входные характеристики транзистора располагаются достаточно близко, поэтому в качестве динамической входной характеристики используется положение средней при $U_{кэ} \neq 0$ (например, при $U_{кэ} = 5$ В). Точка А на линии нагрузки соответствует уменьшению коэффициента передачи по току β транзистора при больших величинах тока I_k (т.е. нарушению линейности).

Точке А на выходных характеристиках соответствует точка А' на входных характеристиках транзистора, определяющая максимальный ток базы. Точка В' (рабочая точка РТ) соответствует значению тока покоя базы $I_{б0}$.

По положению рабочей точки определяются параметры режима покоя ($I_{б0}$, $I_{к0}$, $U_{кэ0}$, $U_{бэ0}$), а рабочий участок характеристик (АС и А'С') позволяет определить амплитуды переменных составляющих токов базы i_b , коллектора i_k , напряжений $u_{бэ}=u_{вх}$ и $u_{кэ}=u_{вых}$, и вычислить коэффициенты усиления каскада.

Описанный режим работы усилителя соответствует классу А. В зависимости от положения рабочей точки покоя на динамической характеристике различают режимы работы транзистора в схеме – классы А, В, АВ и С.

При работе в режиме класса А рабочая точка покоя выбирается посередине. Этот режим обеспечивает минимальные нелинейные искажения, но к.п.д. каскада мал (не превышает 50%).

С целью повышения к.п.д. усилителя используются классы усиления В, АВ и С, однако в этих классах велики нелинейные искажения сигнала.

В классе В напряжение смещения $U_{бэ0}$ равно нулю и точка покоя располагается в нижнем конце линии нагрузки.

Класс АВ – промежуточный между классами А и В. В классе С точка покоя выбирается в области отсечки и при отсутствии входного сигнала транзистор заперт.

Вопрос 5. Устройство автоматических регуляторов аппаратного типа, электронной агрегатной унифицированной системы (ЭАУС), пневматических регуляторов системы <Старт>. Их ТО и ремонт.

Автоматический регулятор — это средство автоматизации, получающее, усиливающее и преобразующее сигнал отклонения регулируемой величины и целенаправленно воздействующее на объект регулирования; он обеспечивает поддержание заданного значения регулируемой величины или изменения её значения регулируемой величины или изменения её значения по заданному закону (алгоритму).

Автоматические регуляторы с типовыми алгоритмами регулирования *релейными, пропорциональным (П), пропорционально интегральным (ПИ), пропорционально-дифференциальным (ПД) и пропорционально-интегрально-дифференциальным (ПИД)* — составляют основную группу регуляторов, используемых в самых различных отраслях промышленности и сельского хозяйства. Несмотря на широкое использование управляющих вычислительных машин, микропроцессорных средств контроля и управления, автоматические регуляторы являются широко распространенными средствами автоматизации в составе локальных систем контроля и регулирования с числом контуров регулирования от 1 до 8—16, подсистем нижнего уровня иерархии управления в распределенных АСУ ТП и систем с супервизорным управлением.

Главная функция регулятора — формирование сигнала рассогласования между регулируемой величиной и ее заданным

значением (уставкой) и динамическое преобразование сигнала рассогласования по типовым алгоритмам (законам) регулирования. Управляющий сигнал с выхода регулятора поступает непосредственно на вход исполнительного устройства автоматической системы.

Однако к современным автоматическим регуляторам предъявляется ряд дополнительных эксплуатационных требований, основными из которых являются:

- безударный переход (т. е. без дополнительных переходных процессов в цепях) с режима ручного управления на автоматический и обратно;
- в режиме автоматического управления безударный переход с внешнего источника сигнала задания на внутренний (необходимый, например, в супервизорном управлении);
- ограничение выходного аналогового сигнала по верхнему и нижнему уровням и сигнализации предельных значений этих уровней;
- гальваническое разделение входных и выходных цепей;
- связь с УВМ верхнего уровня иерархии управления;
- аналоговая и дискретная автоподстройка динамических параметров регулятора, необходимая для построения адаптивных систем управления.

Автоматические регуляторы классифицируются в зависимости от назначения, принципа действия, конструктивных особенностей, вида используемой энергии и др.

По конструктивным признакам автоматические регуляторы подразделяются на аппаратные, приборные, агрегатные и модульные.

Регуляторы аппаратного типа конструктивно представляют собой техническое устройство, работающее в комплексе с первичным измерительным преобразователем. Такие регуляторы работают независимо (параллельно) от средств измерения данного технологического параметра.

Регуляторы приборного типа работают только в комплексе со вторичным измерительным прибором. Приборные регуляторы не имеют непосредственной связи с первичным измерительным преобразователем.

Автоматические регуляторы, построенные по агрегатному (блочному) принципу, состоят из отдельных унифицированных блоков, выполняющих определённые функции. Входные и выходные сигналы этих блоков унифицированы. Это позволяет из блоков проектировать автоматические регуляторы различного функционального назначения.

Автоматические регуляторы, построенные по модульному (элементному) принципу, состоят из отдельных модулей (элементов), выполняющих простейшие операции. Входные и выходные сигналы модулей унифицированы. Это позволяет, как и в случае использования агрегатных регуляторов, собирать автоматические регуляторы различного функционального назначения.

В зависимости от вида используемой энергии регуляторы подразделяются на *электрические* (электромеханические, электронные), *пневматические*, *гидравлические* и *комбинированные* (электропневматические, электрогидравлические и т.д.).

Выбор регулятора по виду используемой энергии определяются характером объекта регулирования и особенностями автоматической системы.

Так, пневматические автоматические регуляторы применяются во взрыво— и пожароопасных зонах при небольших расстояниях (до 400 м) от пункта управления до объекта регулирования. Следует отметить, что гидравлические регуляторы надёжны в работе, а их исполнительные механизмы при относительно небольших размерах развивают большие усилия.

Однако и пневматические, и гидравлические регуляторы имеют ряд недостатков:

- необходимость в специальных источниках питания;
- ограниченность радиуса действия;
- требования полной герметизации всех элементов регулятора и линии связи;
- большая инерционность элементов и линий связи по сравнению с инерционностью электрических регуляторов и т. д.

Автоматические регуляторы электрической ветви в зависимости от вида электрического сигнала разделяются на *аналоговые, дискретные и гибридные* (аналого-дискретные). В свою очередь, дискретные регуляторы могут быть *импульсными и цифровыми*. В аналоговых регуляторах информационный сигнал непрерывен на всем тракте формирования сигнала регулирования. В дискретных регуляторах в одной или нескольких точках тракта формирования регулирующего сигнала происходит *импульсная модуляция* сигнала либо по *амплитуде* (АИМ), либо по *длительности (ширине)* импульсов (ШИМ), либо по *частоте* импульсов (ЧИМ); модуляция по *уровню* в релейных регуляторах и модуляция по *уровню и амплитуде* в цифровых регуляторах. В гибридных регуляторах информационные сигналы имеют как аналоговую, так и дискретную природу в различных точках тракта формирования регулирующего сигнала.

Вопрос 6. Статические и динамические характеристики. Электродвигательные, электромагнитные, пневматические и гидравлические исполнительные механизмы; электромагнитные муфты скольжения и трения. Регулирующие органы. Сочленение регулирующих органов с исполнительными механизмами. Их ТО и диагностика.

П.1 Статические и динамические характеристики.

При решении задачи автоматизации объекта необходимо тщательное изучение его свойств, условий функционирования и эксплуатационных требований, предъявляемых к нему. Эти свойства оцениваются по его характеристикам, которые могут быть получены экспериментально или выведены аналитически. Характеристикой объекта называется совокупность функций, величин, математических операций, правил и алгоритмов, при помощи которых заданному сигналу на входе объекта ставится в соответствии сигнал на выходе этого объекта.

Статические характеристики объекту регулирования

Статические характеристики объекта дают возможность оценить степень связи между различными входными и выходными величинами объекта. Статические характеристики могут быть как линейными 1 с различными коэффициентами наклона, так и нелинейными 2 (рис.3.13,а), причем большинство реальных объектов регулирования в целом имеют нелинейные статические характеристики.

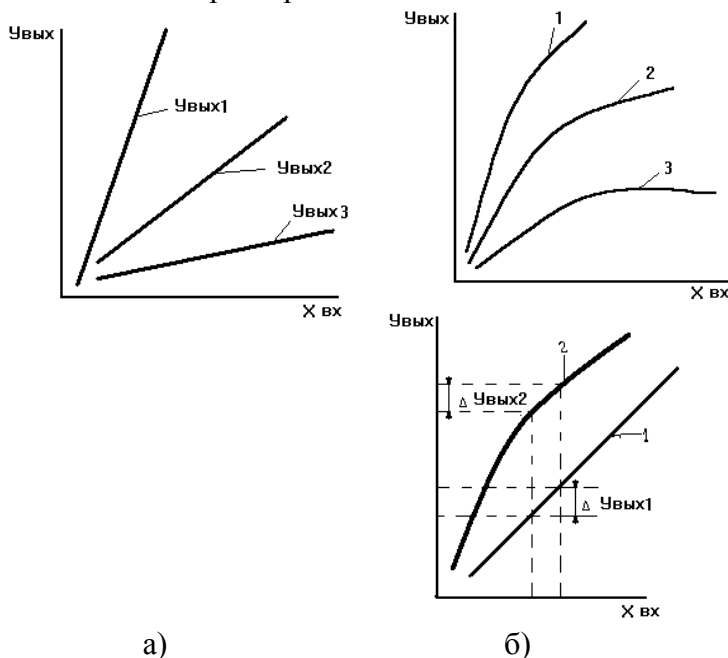


Рисунок 2.13. Статические характеристики объектов регулирования

Семейство выходных величин $у_{вых1}$, $у_{вых2}$ и $у_{вых3}$ (рис.2.13,б) от одной входной величины $x_{вх}$ показывает, что выходная величина $у_{вых1}$ в большей степени зависит от входной величины $x_{вх}$, чем другие выходные величины.

Если выходная величина $у_{вых}$ объекта регулирования зависит от нескольких различных входных величин, то статическая характеристика будет представлять собой не одну кривую, а семейство кривых (рис.2.12,в). Кривая 1 отображает

зависимость $u_{вых} = f(x_{вх1})$; кривая 2 - $u_{вых} = f(x_{вх2})$ и кривая 3 - $u_{вых} = f(x_{вх3})$.

При построении статических характеристик регулирующей орган может либо включаться в состав объекта регулирования или не включаться. В зависимости от этого входной величиной может являться или положение регулирующего органа (регулирующий орган включен в объект) или величина, характеризующая регулирующее воздействие, т.е. расход энергии, топлива, холодильного агента, пара, воды (регулирующий орган не включен в объект).

Динамические характеристики объектарегулирования

Динамической характеристикой объекта регулирования называется зависимость изменения во времени выходной величины y объекта в переходном режиме. При этом предполагается, что неустановившийся (переходный) режим вызван однократным ступенчатым скачкообразным единичным возмущением входной величины (регулирующим воздействием или внешним возмущением). Динамическая характеристика объекта также называется **кривой разгона** и является временной характеристикой объекта.)

Кривая разгона объекта может быть получена экспериментальным путем, или рассчитана аналитически. При экспериментальном способе получения кривой разгона регулятор отключается от объекта регулирования, а на вход объекта вручную вносится единичное ступенчатое воздействие.

П.2 Электродвигательные, электромагнитные, пневматические и гидравлические исполнительные механизмы.

Исполнительные механизмы (ИМ) предназначены для перемещения регулирующего органа (РО) в соответствии с командами автоматического регулятора. Практически исполнительный механизм преобразует сигнал одной природы, который поступает от автоматического регулятора, в механическое перемещение регулирующего органа. Кроме того, ИМ можно рассматривать как усилитель мощности, с помощью которого слабый сигнал регулятора, многократно усиливаясь за

счет энергии питания ИМ подается на РО. Исполнительный механизм, который работает в автоматической системе регулирования, должен не только перемещать РО, но и обеспечить это перемещение с наименьшими искажениями сигнала регулятора.

Для сравнительной оценки исполнительных механизмов используются следующие показатели:

- быстродействие (величина, обратная времени перехода исполнительного механизма из одного состояния равновесия в другое);
- точность (величина, обратная максимально возможной погрешности установки исполнительного механизма в новое состояние равновесия)
- максимальная нагрузка (наибольший момент или усилие, которое может передать ИМ);
- коэффициент полезного действия;
- зона нечувствительности (область, в пределах которой изменение величины управляющего сигнала приводит к движению исполнительного механизма);и тд.

В зависимости от рода энергии, используемой исполнительным механизмом, они разделяются на *электрические*, *пневматические* и *гидравлические*. Электрические исполнительные механизмы, которые используют электрическую энергию, разделяются на *электромагнитные* и *электродвигательные*.

В электромагнитных исполнительных механизмах перемещение РО происходит за счет действия электромагнитной катушки. Такие ИМ могут использоваться в случаях, когда регулирующий орган должен занимать фиксированное положения, например, "Открыто" и "Закрыто" в релейных (позиционных) системах автоматического регулирования. Более распространенными, чем электромагнитные, являются электродвигательные ИМ, которые работают с электрическими регуляторами. Они могут создавать большие усилия перемещения, их можно устанавливать на большом расстоянии от регулятора. Однако они имеют большие габариты, потребляют много энергии, сложные в настройке и

обслуживании. В электродвигательных ИМ используются электродвигатели с постоянной скоростью вращения выходного элемента. Они могут вращаться в ту или иную сторону или находиться в неподвижном состоянии. Эти ИМ реализуют типовые законы регулирования в импульсной форме, то есть перемещение выходного элемента ИМ происходит за счет кратковременных включений электродвигателя, с определенной продолжительностью состояний включения и отключения. Они могут иметь контактное или бесконтактное управление. По характеру движения выходного элемента электродвигатели ИМ разделяются на однооборотные, многооборотные и прямоходные. В однооборотных ИМ выходной вал вращается в пределах одного оборота на 360° . Они оснащены ручным дублером, электромагнитными тормозами, концевыми выключателями, датчиками положения выходного вала. Кроме того они имеют много модификаций, которые отличаются мощностью и быстродействием.

Пневматические исполнительные механизмы работают с пневматическими регуляторами, отличаются высокой надежностью и простотой обслуживания, а также развивают достаточно большие усилия перемещения. Пневматические ИМ нашли широкое распространение благодаря простоте конструкции, низкой стоимости, надежности, способности работать в пожаро- и взрывоопасных условиях. Недостатки: ограниченность расстояния от регулятора до места установки ИУ (обычно до 200 м), низкое быстродействие, низкий класс точности.

Гидравлический исполнительный механизм — устройство, преобразующее выходной сигнал регулятора при помощи силы жидкости под давлением, чтобы произвести механическое движение. Гидравлические ИМ имеют в основном те же достоинства и недостатки, что и пневматические ИМ, однако могут развивать значительные перестановочные усилия и применяются преимущественно на мобильных машинах.

Электромагнитные муфты скольжения и трения.

Электромагнитные муфты применяют для

замыкания и размыкания кинематических цепей без прекращения вращения. Электромагнитная муфта является индивидуальным регулятором скорости и представляет собой электрическую машину, служащую для передачи вращающего момента от ведущего вала к ведомому при помощи электромагнитного поля, и состоит из двух основных вращающихся частей: якоря (в большинстве случаев представляет собой массивное тело) и индуктора с обмоткой возбуждения. Якорь и индуктор механически жестко не связаны между собой. Как правило, якорь соединяется с приводным двигателем, а индуктор — с рабочей машиной.

Электромагнитные муфты, применяемые для автоматического управления, разделяются на муфты *сухого* и *вязкого трения* и муфты *скольжения*.

Муфта сухого трения производит передачу мощности с одного вала на другой через диски трения. Диски имеют возможность перемещаться по шлицам оси вала и ведомой полумуфты. При подаче тока в обмотку, якорь сжимает диски, между которыми возникает сила трения.

Муфты вязкого трения имеют постоянный зазор между ведущей и ведомой полумуфтами. В зазоре с помощью обмотки создаётся магнитное поле, которое воздействует на наполнитель (ферритовое железо с тальком или графитом) и образует элементарные цепочки магнитов. При этом наполнитель как бы схватывает ведомую и ведущую полумуфты. При выключении тока магнитное поле пропадает, цепочки разрушаются и полумуфты проскальзывают относительно друг друга. Эти электромагнитные муфты позволяют плавно регулировать скорость вращения при больших нагрузках на выходном валу.

Муфта скольжения состоит из двух зубовидных полумуфт и катушки. При подаче тока в катушку образуется замкнутое магнитное поле. При вращении муфты проскальзывают одна относительно другой, в результате чего образуется переменный магнитный поток, это и является причиной возникновения э. д. с. и токов. Взаимодействие

образовавшихся магнитных потоков приводит во вращение ведомую полумуфту. Основное назначение таких муфт — создавать наиболее благоприятные условия пуска, а также сглаживать динамические нагрузки при работе двигателя.

Электромагнитные муфты скольжения имеют ряд недостатков: низкий коэффициент полезного действия при малых скоростях, малый передаваемый момент, низкая надежность при резком изменении нагрузки и значительная инертность.

ПЗ. Регулирующий орган (РО) — элемент в цепи воздействий, оказывающий непосредственное влияние на управляемый объект. Это воздействие может осуществляться изменением количества энергии (вещества), проходящего через объект, либо путем изменения характеристик (режима) объекта.

Регулирующие органы по принципу регулирующего воздействия на объект могут быть разделены на дросселирующие и дозирующие.

Дросселирующие регулирующие органы представляют собой переменное гидравлическое сопротивление, воздействующее на расход вещества за счет изменения своего проходного сечения.

Посредством дозирующих РО осуществляется заданное дозирование поступающего вещества или энергии (изменение расхода вещества) за счет изменения производительности агрегатов.

Широкое распространение в системах автоматического регулирования получили дросселирующие регулирующие органы, несмотря на то, что применение дозирующих регулирующих органов экономически более целесообразно.

Для непрерывного регулирования находят применение дросселирующие регулирующие органы следующих типов:

-заслоночные, в которых изменение пропускной способности достигается поворотом заслонки (диска) в седле;

- односедельные, в которых изменение пропускной способности достигается поступательным перемещением затвора вдоль оси прохода седла корпуса. Преимущество — простота герметичного закрытия. Недостаток — значительные усилия на штоке. Поэтому они применяются при малых Ду или давлениях.

-двухседельные, в которых изменение пропускной способности достигается поступательным перемещением затвора вдоль оси проходов двух седел корпуса. Преимущество – малое давление, действующее на шток. Недостаток – трудная подгонка затвор/седло.

-трехходовые, в которых пропускная способность изменяется при поступательном перемещении затвора вдоль оси проходов двух седел и при этом корпус имеет три присоединительных прохода, через которые один поток разделяется на два, или два потока соединяются в один.

В последнее время широко распространены односедельные разгруженные клапаны, которые обладают преимуществами перед одно- и двухседельных клапанов. Недостаток – сложность конструкции.

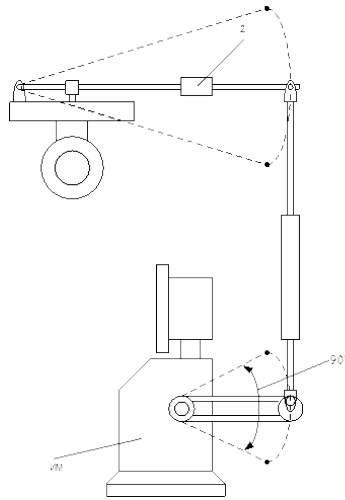
Характеристики РО. Каждый регулирующий орган в зависимости от своих конструктивных особенностей характеризуется качественными показателями, определяющими возможность его использования в конкретных условиях:

- пропускной способностью,
- пропускной характеристикой.

Помимо прямой связи силового элемента исполнительного механизма с регулирующим органом существуют следующие **виды сочленений**: рычажное, кулачковое, редукторное, тросовое.

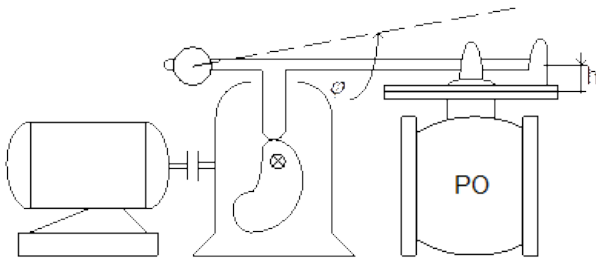
Всегда желательно, чтобы характеристика регулирующего органа была линейной. Если нелинейность характеристики РО неустранима, то она может быть компенсирована конструкцией сочленения.

Рычажные сочленения бывают с линейной и нелинейной характеристикой.



Они просты по конструкции и надежны в эксплуатации, но применяются только в том случае, когда поворот выходного рычага сервопривода (1) и приводного рычага (2) регулирующего органа осуществляется в одной плоскости, и при условии, что угол поворота выходного рычага, равный 90° обеспечивает максимальное открытие регулирующего органа. Применение рычажного соединения ограничивается также расстоянием между сервоприводом и регулирующим органом.

Кулачковое соединение позволяет использовать сервоприводы с углом поворота выходного вала до 360° , при этом плоскости вращения кулачка и приводного рычага РО могут не совпадать.



Существенным преимуществом этого сочленения является возможность изменения характеристики в широких пределах путем различного профилирования кулачка. Это позволяет добиться линейности характеристики РО при любом виде характеристики . Кулачковые соединения применяют при

сравнительно небольших перестановочных усилиях и совместном расположении ИМ и РО.

Редукторное сочленение электрического сервопривода с РО применяется в случае больших перестановочных усилий при перемещениях РО (например, при регулировании питания водой мощных паровых котлов высокого и сверхвысокого давления). Угол поворота выходного вала редуктора практически не ограничен, его передаточные характеристики линейны.

Тросовое соединение в случае необходимости позволяет устанавливать сервопривод на значительном расстоянии от регулирующего органа, но все же это расстояние ограничивается вытяжкой троса. Угол поворота выходного вала ИМ может изменяться от 0 до 270. Повороты диска, укрепленного на выходном валу и приводного рычага, РО могут совершаться в различных плоскостях. Требуемую расходную характеристику РО можно получить, изменяя профиль приводного диска. Для надежности сочленения соединительный трос прокладывается в защитных трубах.

Лекция 3

Тема: Системы телемеханики

Вопрос 1. Применение системы телемеханики. Основные элементы системы телемеханики. Понятие о системе телеизмерения, её задачи и использование. Система телеуправления и телесигнализации, их построение, назначение и применение. Их ТО и ремонт.

Применение системы телемеханики. Основные элементы системы телемеханики. Понятие о системе телеизмерения, её задачи и использование. Система телеуправления и телесигнализации, их построение, назначение и применение. Их ТО и ремонт. Исследование работы систем телеуправления и телесигнализации.

Телемеханика – это комплекс оборудования и программного обеспечения, которые обеспечивают возможность приема и

передачи информации, сигналов от различных объектов, а также позволяют управлять оборудованием данных объектов.

Системы телемеханики применяют для организации контроля и управления над оборудованием объектов, которые расположены в различной степени удаленности от центра управления. На энергетических объектах, на которых запрещено находиться продолжительное время или вообще нахождение человека невозможно (например, по причине высокого радиационного фона, высокого уровня загрязнения).

Основные элементы системы телемеханики

-источник информации — собирает, хранит и выдает исходные данные, которые необходимо передавать на расстояние. Источниками информации в системах телеконтроля являются датчики, регистрирующие приборы и ЭВМ, а в системах телеуправления — программные устройства, ЭВМ и человек, управляющий объектом на расстоянии;

-распределитель (шифратор) — шифрует передаваемую информацию, так как по каналу связи одновременно передается информация о нескольких параметрах объекта или же необходимо управлять несколькими ОУ;

-передатчик — преобразует управляемый параметр в сигнал, передаваемый по выбранному каналу связи;

-канал связи — обеспечивает передачу закодированного сигнала на требуемое расстояние. В качестве каналов связи применяют линии связи (телефонные, телеграфные, радиолнии) и линии электропередач низкого и высокого напряжения;

-приемник — воспринимает сигналы передатчика по каналам связи и преобразует их в сигналы для избирателя;

-избиратель (дешифратор) — дешифрует закодированные сигналы, переданные по каналу связи;

-получатель информации — измерительные, регистрирующие и сигнализирующие приборы в системах телеконтроля и исполнительные механизмы ОУ в системах телеуправления.

Система элементов, обеспечивающая сбор, хранение и выдачу в каналы связи сигналов контроля параметров ОУ, а также воспринимающая сигналы управления его параметрами, представляет собой *пункт контроля*.

Понятие о системе телеизмерения, её задачи и использование

Телеизмерение (ТИ) – получение информации о значениях измеряемых параметров контролируемых и управляемых объектов методами и средствами телемеханики

Системы телеизмерения предназначены для передачи на расстояние значений различных электрических и не электрических величин. Телеизмерение представляет собой разновидность дистанционного измерения, при котором передача значения измеряемой величины осуществляется не непосредственно, а путем преобразования этой величины в другую, вспомогательную величину, более удобную для передачи по каналу связи на значительные расстояния, и последующего преобразования этой вспомогательной величины с показания прибора, установленного на пункте управления.

При телеизмерениях информация может передаваться по линии связи либо непрерывно, либо в виде отдельных сигналов, соответствующих, например, средним значениям измеряемого параметра за какой-то небольшой отрезок времени. Соответственно системы телеизмерения разделяют на системы интенсивности и системы импульсные и частотные.

В *системах интенсивности* в качестве параметра сигнала чаще всего используется величина постоянного тока или напряжения в линии связи, которая меняется в соответствии с изменением измеряемого параметра. В качестве канала связи в системах интенсивности используются только проводные (физические) линии связи.

В *импульсных и частотных системах* измеряемая величина преобразуется в импульсы тока или переменный ток меняющейся частоты. В первом случае в качестве параметра сигнала используется продолжительность (ширина), фаза, или частота следования импульсов. Во втором вспомогательной величиной является частота или фаза переменного тока.

В системах такого типа изменение параметров линии связи не сказывается существенно на параметре передачи. Поэтому указанные системы относятся к системам дальнего

действия и могут использоваться для передачи информации практически на любое расстояние.

Система телеуправления и телесигнализации, их построение, назначение и применение. Их ТО и ремонт

Телеуправление (ТУ) – управление положением или состоянием дискретных объектов и объектов с непрерывным множеством состояний методами и средствами телемеханики. Телеуправление подразделяется на двухпозиционное и многопозиционное.

Двухпозиционное телеуправление – телеуправление объектами, имеющими два возможных состояния.

Многопозиционное телеуправление – телеуправление объектами, имеющими более двух возможных состояний.

Телесигнализация (ТС) – получение информации о состоянии контролируемых и управляемых объектов, имеющих ряд возможных дискретных состояний, методами и средствами телемеханики.

Системы телеуправления (ТУ) самостоятельно применяют очень редко, чаще всего их дополняют устройствами телесигнализации (ТС). Такие системы называются системами «ТУ – ТС». Для них характерна передача ограниченного числа дискретных команд или извещений.

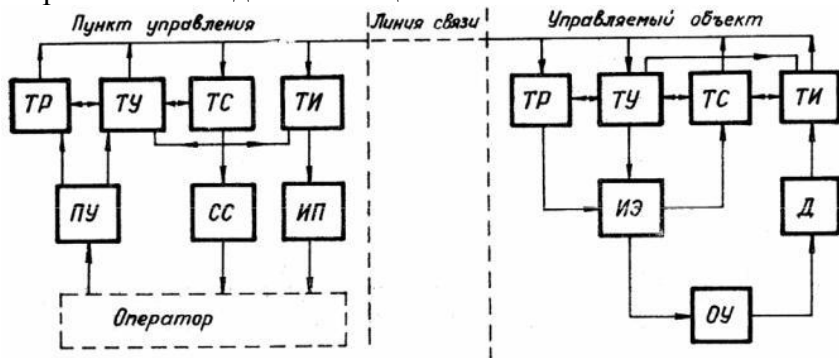


Рис. 15.1. Блок-схема системы телеуправления, телеконтроля и телерегулирования (ТУ—ТК—ТР)

- Телеуправление применяется не только для включения и отключения объектов. Оно является также составной частью телерегулирования и некоторых разновидностей телеизмерения.

В телеуправлении сделан следующий шаг по использованию линии связи – управление на расстоянии многими объектами по одной линии или каналу связи. Разница между диспетчерским управлением (ДУ) и телеуправлением (ТУ) заключается в том, что в ДУ для управления каждым объектом применяется отдельная линия связи, тогда как в ТУ одна линия связи (канал связи) используется для управления многими объектами.

Для выполнения телеуправления могут быть использованы следующие команды:

–команда телеуправления — телемеханическое сообщение, передаваемое с пункта управления на контролируемые пункты и вызывающее изменение положения или состояния объектов;

–групповая команда телеуправления — команда телеуправления, адресованная нескольким объектам одного контролируемого пункта;

–циркулярная команда телеуправления — команда телеуправления, адресованная объектам нескольких или всех контролируемых пунктов телемеханической системы;

–команда-инструкция — команда телеуправления, передаваемая с пункта управления на контролируемые пункты оперативному персоналу, где она выводится на устройства отображения в виде стандартных инструкций;

–телемеханическая команда опроса — телемеханическое сообщение, требующее от контролируемого пункта передачи информации о состоянии объектов.

•Сигнализация о состоянии объектов и системы телемеханики. Такая сигнализация имеется как в системах ТС, предназначенных только для целей сигнализации, так и в системах ТУ–ТС. Она может осуществляться автоматически либо по вызову диспетчера. Сигнализация о состоянии объектов в устройствах ТС является всегда адресной, т. е. конкретно указывает, какой объект изменил свое состояние. Практически она всегда адресная и в системах ТУ–ТС.

Кроме сигнализации о состоянии объектов предусматривается сигнализация об исправной работе системы. Для этого выделяется один из каналов системы и с КП

посылается сигнал, отчего на ПУ в случае исправности системы постоянно горит сигнальная лампа. Сигнализация, подтверждающая выполнение команд ТУ, или извести-тельная сигнализация. Она может как подтверждать промежуточное выполнение команды, связанное с включением ряда устройств, предшествующих переключению объекта, так и извещать об изменении состояния непосредственно объекта. Если сигнализация об объекте является адресной, то сигнализация о подготовке аппаратуры к включению о выборе объекта часто бывает общей для всех объектов, т. е. безадресной. Сигнализация о выходе измеряемого параметра за установленные пределы. Сюда же можно отнести аварийную сигнализацию.

Методы телеуправления

В телемеханике применяют следующие методы управления: двухступенчатое, иерархическое или многоступенчатое, циркулярное и циклический опрос.

При *двухступенчатом* процессе управления диспетчер сначала осуществляет подготовительную операцию– выбирает с помощью индивидуального ключа требуемый объект управления. Далее осуществляет исполнительную операцию – посылает команду «включить» или «отключить» на объект управления при помощи индивидуального либо общего ключа(кнопки). Двухступенчатость управления уменьшает вероятность неправильной посылки команды из-за поспешности, рассеянности или просто ошибки диспетчера. В системе должна быть предусмотрена сигнализация о выбранном объекте либо местная, либо поступившая с КП и подтверждающая выполнение подготовительной операции.

Принцип *иерархичности* основан на разделении информации управления по определенным уровням, что позволяет создать многоступенчатые системы ТУ-ТС. Информация, возникающая в каждой ступени, почти полностью замыкается в пределах этой ступени, и лишь часть ее передается на следующую ступень. В центральный диспетчерский пункт (ЦДП) поступают лишь некоторые характерные обобщающие показатели и данные о работе нижних ступеней управления.

Самым нижним рангом является местная автоматика, которая может самостоятельно воздействовать на объект. В то же время наиболее важная информация передается непосредственно в ЦДП. В свою очередь из ЦДП на нижестоящие ступени управления поступают команды обобщающего характера, типа заданий, которые конкретизируются на месте.

Циркулярное управление характеризуется одновременной передачей в течение одного цикла многих команд, т.е. осуществляется управление многими объектами. Причинами этого могут быть условия технологического процесса или необходимость сокращения времени управления, т.е. увеличение быстродействия. Однако в большинстве случаев для обеспечения надежности управления за один цикл посылаются команды только одному объекту. При этом достаточно просто осуществляется контроль над достоверностью принятого - сообщения (по числу информационных импульсов).

При *циклическом* опросе диспетчер может послать команду на КП, с которого поочередно будет передаваться информация о состоянии всех или группы объектов. В системах телемеханики для рассредоточенных объектов такая связь может осуществляться с одним КП, несколькими или со всеми. Циклический опрос может производиться спорадически (по мере необходимости) или автоматически. Причем как КП, так и объекты на них могут подключаться поочередно или по заданной программе.

Виды и методы сигнализации

Различают следующие виды сигнализации:

1. Сигнализация о состоянии объектов и системы. Такая сигнализация имеет место как в устройствах ТС, предназначенных для сигнализации, так и в системах ТУ-ТС. Она может осуществляться либо автоматически, либо по вызову диспетчера.

Сигнализация о состоянии объектов в устройствах ТУ-ТС является всегда адресной. Кроме сигнализации о состоянии объектов в системе предусматривается сигнализация об исправной работе отдельных устройств.

2. Сигнализация, подтверждающая выполнение команд ТУ, или так называемая известительная сигнализация. Эта сигнализация может подтверждать как промежуточное исполнение команды, связанное с включением ряда устройств, предшествующих переключению объекта, так и извещать об изменении состояния непосредственно объекта.

3. Сигнализация о выходе измеряемого параметра за заранее установленные пределы (предупредительная сигнализация). Сюда же можно отнести аварийную сигнализацию – когда сигнализируется появление аварийной ситуации на контролируемом объекте.

4. Сигнализация по методу «светлого» щита означает, что зажженная лампочка на щите будет гореть до тех пор, пока объект включен. Если все объекты включены, то все индикаторы светятся. Это может создать неудобства для диспетчера в случае большого числа объектов. От этого недостатка свободна сигнализация по методу «темного» щита, при которой о положении объекта судят не по индикаторной лампочке, которая обычно погашена, а по положению ключа. Индикатор светится лишь при изменении состояния объекта. Например, приходит сигнал, извещающий об изменении положения объекта. При этом начинает светиться индикатор 4-гои подается акустический сигнал. Возникает состояние несоответствия между новым состоянием объекта и положением ключа, который повернут в положение, соответствующее предшествующему состоянию объекта. Диспетчер переводит ключ в положение, соответствующее новому состоянию объекта, индикатор гаснет и прекращается подача акустического сигнала.

Следует отметить, что телесигнализация может осуществляться либо спорадически (при изменении состояния объекта или по желанию диспетчера), либо циклически.

Из рассмотрения следует, что устройство телемеханики в случае приема дискретной информации без запроса со стороны пункта управления должно обеспечивать подачу вызывных сигналов — звукового и светового. Звуковой сигнал выполняется общим для всех устройств пункта управления. Световой сигнал должен

быть отдельным для каждого контролируемого пункта, обслуживаемого одним диспетчерским комплектом устройства телемеханики.

Для устройств и блоков автоматических систем телемеханики(АСТ) установлено техническое обслуживание (ТО) по ГОСТ 18322-2016. Принятое ТО включает в себя плановые проверки состояния, а также внеочередные проверки для выявления последствий аварий на объекте. ТО проводится силами эксплуатирующей организации. Устанавливаются следующие виды планового технического обслуживания устройства:

- проверка при новом включении (наладка);
- первый профилактический контроль;
- профилактический контроль;
- профилактическое восстановление (ремонт);
- тестовый контроль;
- опробование;
- технический осмотр.

Кроме того, в процессе эксплуатации могут проводиться следующие виды внепланового технического обслуживания:

- внеочередная проверка;
- послеаварийная проверка.

Профилактический контроль включает:

- систематический контроль состояния устройства в целом и входящих в него модулей;
- частичная проверка функциональных модулей;
- полная проверка устройства с опробованием действия телеуправления.

Систематический контроль предусматривает проведение следующих проверок:

- проверка наличия напряжения питания по состоянию индикаторов;
- проверка рабочего состояния.

Проверка при новом включении устройства проводится:

- перед включением вновь смонтированных устройств;

- после реконструкции действующих устройств, связанной с установкой новых дополнительных модулей, после монтажа новых присоединений или замены программного обеспечения.

Лекция 4

Тема: Основы теории автоматического управления

Вопрос 1. Составление и преобразование структурных схем. Передаточные функции системы управления.

Для наглядного представления сложной системы как совокупности элементов и связей между ними используются структурные схемы.

Структурная схема- это графическое изображение САУ, которое определяет основные функциональные части системы, их назначение и взаимосвязи и отображает систему дифференциальных уравнений, описывающих процессы в элементах системы. Структурные схемы состоят из отдельных структурных элементов в виде прямоугольников, соединённых линиями связи, дающих представление о взаимосвязи устройств, функциональных частей и отдельных элементов САУ. На линиях связи стрелками обозначается направление хода процессов. При использовании структурных схем для анализа и синтеза САУ внутри прямоугольников, изображающих динамические звенья, записываются передаточные функции этих звеньев. В нелинейных системах внутри прямоугольников изображаются нелинейные характеристики функциональных звеньев или их временные характеристики. При составлении структурных схем полагают, что звенья являются однонаправленными, т.е. представляют собой детектирующие динамические устройства. Практически в подавляющем большинстве случаев структурные схемы САУ представляют различные комбинации относительно небольшого числа типовых динамических звеньев направленного действия.

Структурная схема может быть составлена по уравнению системы в пространстве состояний или по системе дифференциальных уравнений. При составлении структурной схемы удобно начинать с изображения задающего воздействия и

располагать динамические звенья, составляющие прямую цепь системы, слева направо до регулируемой величины. Тогда основная обратная связь и местные обратные связи будут направлены справа налево.

При выполнении преобразований следует каждое имеющееся в схеме типовое соединение заменить эквивалентным звеном. Затем можно выполнить перенос точек разветвления и сумматоров, чтобы в преобразованной схеме образовались новые типовые соединения звеньев. Эти соединения опять заменяются эквивалентными звеньями, затем вновь может потребоваться перенос точек разветвления и сумматоров и т. д.

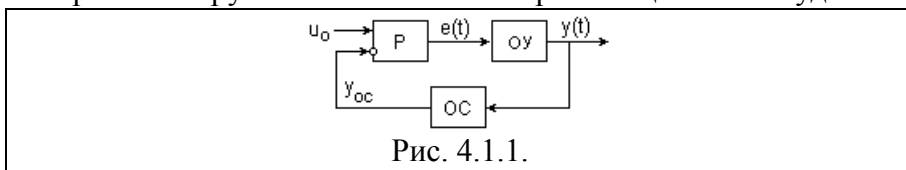
Различают основные соединения блоков в структурных схемах: последовательное соединение, параллельное соединение, антипараллельное соединение (обратная связь), в свою очередь обратная связь может быть отрицательной и положительной.

Передаточные функции системы составляют по ее структурной схеме. С целью упрощения структурной схемы и приведения ее к виду, удобному для исследования, схему преобразуют, пользуясь правилами преобразования и учитывая виды связей звеньев в структурной схеме. Для инженерных расчетов обычно используют передаточную функцию разомкнутой системы и передаточные функции замкнутой системы относительно задающего и возмущающего воздействия.

Вопрос 2. Условия устойчивости автоматических систем. Математическая оценка устойчивости. Критерии устойчивости. Алгебраические и частотные критерии устойчивости. Логарифмические критерии устойчивости. Система автоматического регулирования с транспортным запаздыванием. Показатели качества переходных процессов регулирования. Время регулирования, перерегулирование. Методы исследования качества регулирования с помощью компьютеров и моделирующих устройств. Понятие о нелинейных САУ. Типовые нелинейности. Нелинейные элементы.

КРИТЕРИИ УСТОЙЧИВОСТИ САУ.

Понятие устойчивости системы. Следящая система находится в состоянии равновесия, если при отсутствии воздействия на систему возмущающих факторов ошибка регулирования (разность между заданным и фактическим состоянием системы) стремится к нулю. Под устойчивостью понимается способность динамической системы возвращаться в равновесное состояние (положение равновесия) после окончания действия возмущения, нарушившего это равновесие. Неустойчивая система после воздействия возмущения непрерывно удаляется от равновесного состояния или начинает совершать вокруг него колебания с нарастающей амплитудой.



Возникновение неустойчивых (расходящихся) колебаний в системе можно проследить на примере следящей системы с обратной связью (рис. 4.1.1). Допустим, что в установившемся состоянии равновесия при опорном сигнале u_0 на регуляторе P выходное состояние объекта управления OU равно $y_{уст}$. Это состояние поддерживается сигналом рассогласования $e_{уст}$, который формируется в регуляторе P по разности опорного сигнала и сигнала обратной связи $y_{oc-уст}$, т.е. $e_{уст} = u_0 - y_{oc-уст}$. В первый момент включения системы в силу инерционности обратной связи $y_{oc} = 0$, а, следовательно, $e(t) \gg e_{уст}$, что вызывает нарастание выходной величины $y(t)$, которая будет стремиться к $y(t) \gg y_{уст}$ по крайней мере до тех пор, пока сигнал обратной связи не начнет уменьшать значение $e(t)$. Однако значительно возросшая величина $y(t)$ через OC передается на вход регулятора системы и может настолько существенно уменьшить значение $e(t)$, что это может привести к последующему снижению величины выходного сигнала до значений $y(t) \ll y_{уст}$, т.е. к возникновению колебательного процесса относительно равновесного состояния. При неблагоприятном соотношении параметров системы

колебательный процесс может быть незатухающим и даже расходящимся. Пример такого процесса в концертной акустике хорошо известен – свист из динамиков, если коэффициент обратной связи от динамиков на микрофоны на определенных частотах становится положительным.

Устойчивость линейной системы определяется не характером возмущения, а структурой самой системы. Говорят, что система устойчива "в малом", если определен факт наличия устойчивости, но не определены ее границы. Система устойчива "в большом", когда определены границы устойчивости и то, что реальные отклонения не выходят за эти границы. Соответственно, и задача исследования систем на устойчивость может быть поставлена двояко:

- 1) устойчива ли система при заданном значении ее параметров;
- 2) в каких диапазонах можно изменять параметры системы, не нарушая ее устойчивости.

Вторая постановка задачи об устойчивости имеет место при наладке и эксплуатации систем автоматического управления.

В соответствии с классическим методом решение дифференциального уравнения для системы ищется в виде:

$$y(t) = y_{св}(t) + y_{вын}(t). \quad (4.1.1)$$

Здесь $y_{св}(t)$ – свободная составляющая, общее решение однородного дифференциального уравнения с нулевой правой частью:

$$a_0 y^{(n)} + a_1 y^{(n-1)} + \dots + a_{n-1} y' + a_n y = 0,$$

т.е. все внешние воздействия сняты, и состояние системы определяются лишь собственной структурой.

Функция $y_{вын}(t)$ представляет собой частное решение неоднородного дифференциального уравнения, под которым понимается уравнение с ненулевой правой частью. Физически это означает, что к системе приложено внешнее воздействие $u(t)$. Поэтому вторая составляющая общего решения называется вынужденной. Она определяет вынужденный установившийся режим работы системы после окончания переходного процесса.

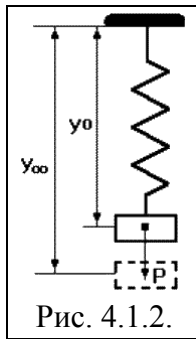


Рис. 4.1.2.

Можно провести аналогию между САУ и пружиной, колебания которой описываются аналогичным дифференциальным уравнением (рис. 4.1.2). Оттянем пружину, а затем отпустим, предоставив ее самой себе. Пружина будет колебаться в соответствии со свободной составляющей решения уравнения, характер колебаний будет определяться только структурой самой пружины. Если подвесить к пружине груз, то на свободные колебания наложится внешняя сила P . После затухания колебаний, описываемых только свободной составляющей общего решения, система перейдет в новый установившийся режим, характеризуемый вынужденной составляющей $y_{\text{вын}} = y(t \rightarrow \infty)$. Если внешнее воздействие само будет изменяться по синусоидальному закону $P = P_0 \sin(\omega t + \varphi)$, то после затухания переходного процесса система будет совершать вынужденные колебания с той же частотой, что и вынуждающая сила, то есть $y_{\text{вын}} = u_{\text{max}} \sin(\omega t + \varphi)$.

Таким образом, под устойчивостью понимается свойство системы возвращаться в состояние равновесия после вывода ее из этого состояния и прекращения изменения задающего или возмущающего воздействия.

Только устойчивая система является работоспособной. Основы строгой теории устойчивости динамических систем были разработаны акад. А. М. Ляпуновым в работе «Общая задача об устойчивости движения» (1892 г.). Понятия об устойчивости, вытекающие из этой работы, заключаются в следующем.

Если система описывается линейным дифференциальным уравнением, то ее устойчивость не зависит от величины

возмущения. Линейная система, устойчивая при малых возмущениях, будет устойчива и при больших. Нелинейные системы могут быть устойчивы при малых возмущениях и неустойчивы при больших.



Наглядное представление о нелинейных системах, устойчивых при малых и неустойчивых при больших возмущениях, дает рассмотрение шара во впадине, приведенного на рисунке слева. При малых воздействиях на шар и его малых отклонениях, не превышающих края впадины, шар возвращается в исходное положение, т. е. система шар - поверхность устойчива. При больших воздействиях с отклонением за край впадины шар не возвращается в исходное положение - система неустойчива. Поэтому для нелинейных систем устойчивость исследуется отдельно для случая малых и больших возмущений.

Об устойчивости нелинейных систем при малых возмущениях можно судить по их линеаризованным уравнениям, при больших возмущениях необходимо пользоваться нелинейными уравнениями динамики. В большинстве практических случаев системы, устойчивые при малых отклонениях, оказываются устойчивыми и при достаточно больших отклонениях, возможных в процессе эксплуатации.

Проблема устойчивости обычно возникает в замкнутых САУ из-за влияния обратной связи. Поэтому в дальнейшем устойчивость исследуется на примерах замкнутых систем, хотя методы исследования устойчивости универсальны.

УСЛОВИЕ УСТОЙЧИВОСТИ САУ.

Применительно к сигналам в САУ частное решение для вынужденной составляющей обычно имеет простой вид, не влияющий на устойчивость. Вопрос устойчивости сводится к выяснению устойчивости свободного движения системы и требует анализа характера решения уравнения свободного движения, составленного относительно отклонения выходной величины $y(t)$ от установившегося состояния.

Как известно, передаточная функция любой линейной динамической системы может быть приведена к виду:

$$W(p) = K(p)/H(p) = [b_0 p^m + b_1 p^{m-1} + \dots + b_{m-1} p + b_m] / [a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_{n-1} p + a_n], \quad (4.1.2)$$

где a и b - постоянные коэффициенты, которые представляют собой вещественные числа и выражаются через конкретные физические параметры элементов системы. Полином $K(p)$ может не содержать членов с оператором p и представлять собой произведение коэффициентов передачи звеньев, образующих систему.

Важнейшим свойством выражения (4.1.2) является условие $n \geq m$, т. е. порядок полинома $H(p)$ знаменателя передаточной функции не ниже порядка полинома $K(p)$ ее числителя. Это условие вытекает из физических свойств звеньев реальных динамических систем.

Из выражения (4.1.2) передаточной функции системы можно получить дифференциальное уравнение системы в целом как в разомкнутом, так и в замкнутом состоянии.

Уравнения разомкнутых систем. Если выражение (4.1.2) является передаточной функцией разомкнутой системы, то выражение

$$y(p) H(p) = u(p) K(p), \quad (4.1.3)$$

будет представлять собой операторное уравнение разомкнутой системы (уравнение в изображениях переменных). Положив в (4.1.3) $u(p)=0$, получим операторное уравнение свободного движения в разомкнутой линейной динамической системе:

$$y(p) H(p) = 0. \quad (4.1.4)$$

Переходя в (4.1.4) к оригиналам, т. е. от операторного уравнения к дифференциальному, и обозначив $y(t)=x$, получаем дифференциальное уравнение свободного движения в разомкнутой линейной динамической системе

$$a_0 d^n x/dt^n + a_1 d^{n-1} x/dt^{n-1} + \dots + a_{n-1} dx/dt + a_n = 0 \quad (4.1.5)$$

Характеристическим уравнением, соответствующим дифференциальному уравнению (4.1.5), будет

$$H(p) = 0, \quad a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_{n-1} p + a_n = 0. \quad (4.1.6)$$

Отсюда следует: приравненный нулю знаменатель передаточной функции разомкнутой линейной динамической

системы является характеристическим уравнением, соответствующим дифференциальному уравнению разомкнутой системы. В связи с этим многочлен $H(p)=0$ называется характеристическим оператором системы.

Уравнение замкнутых систем. Пусть (4.1.2) является передаточной функцией разомкнутой системы. Для замкнутой системы в силу отрицательной главной обратной связи имеем $u(t) = -y(t)$, и (4.1.3) принимает вид $H(p) y(p) = -K(p) y(p)$. Операторное уравнение свободного движения в замкнутой системе:

$$[K(p)+H(p)]y(p) = 0, \quad (4.1.7)$$

где $K(p)$, $H(p)$ - соответственно числитель и знаменатель передаточной функции разомкнутой системы; $y(p)$ — изображение координаты системы в точке ее замыкания.

На основании (4.1.7) можно записать характеристическое уравнение, соответствующее дифференциальному уравнению свободного движения в замкнутой системе

$$K(p) + H(p) = 0. \quad (4.1.8)$$

С учетом того, что $W_{oc}(p) = 1$, передаточная функция замкнутой системы:

$$W_{зс}(p) = W(p)/[1 + W(p)], \quad (4.1.9)$$

где $W(p)=K(p)/H(p)$ - передаточная функция разомкнутой системы. Или:

$$W_{зс}(p) = K(p)/[K(p) + H(p)] = K(p)/H_{зс}(p). \quad (4.1.9')$$

На этом основании характеристическое уравнение замкнутой системы можно записать в виде

$$H_{зс}(p) = 0. \quad (4.1.10)$$

Таким образом, приравненная нулю сумма полинома числителя и полинома знаменателя передаточной функции разомкнутой системы или приравненный нулю полином знаменателя передаточной функции замкнутой системы являются характеристическим уравнением, соответствующим дифференциальному уравнению свободного движения в замкнутой системе.

Корни характеристических уравнений систем могут быть либо вещественными, либо попарно комплексно сопряженными. Решение однородного уравнения выражается через корни

характеристического уравнения и коэффициенты перед экспонентами, которые могут быть вычислены через вычеты:

$$y_{св}(t) = \sum_{n=1}^N C_n \exp(p_n t). \quad (4.1.11)$$

Условие устойчивости систем по Ляпунову формулируется так: *в устойчивой системе свободная составляющая решения уравнения динамики, записанного в отклонениях, должна стремиться к нулю, то есть затухать.*

Из формулы (4.1.11) нетрудно вывести условие устойчивости линейных динамических систем: линейная система будет устойчива, если все вещественные корни и все вещественные части комплексных корней характеристического уравнения, соответствующего исходному дифференциальному уравнению свободного движения системы, будут отрицательными, что дает затухающие по экспоненте решения. Если имеются чисто мнимые корни, то в переходном процессе будут гармонические незатухающие компоненты.

Таким образом, исследование устойчивости системы сводится к определению знаков вещественных частей корней характеристического уравнения системы. Но решение уравнений четвертой и более высоких степеней может встречать затруднения. Поэтому применяются косвенные методы анализа устойчивости без определения корней характеристического уравнения. Правила, позволяющие судить о знаках корней характеристического уравнения без его решения, называются критериями устойчивости. Их можно разделить на алгебраические (основаны на составлении по данному характеристическому уравнению по определенным правилам алгебраических выражений, по которым можно судить об устойчивости САУ) и частотные (основаны на исследовании частотных характеристик).

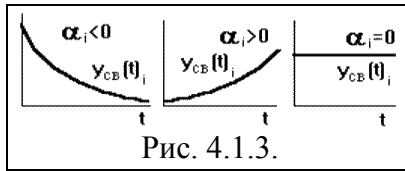
Проверку факта отрицательности вещественных частей корней можно выполнять тремя способами:

- вычислив корни непосредственно, с использованием готовых программ;
- связав расположение корней с коэффициентами характеристического уравнения для последующего

аналитического исследования;

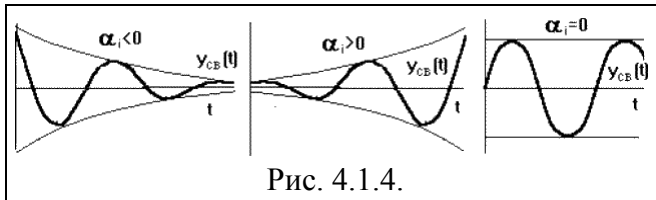
- судить об устойчивости по частотным характеристикам САУ.

Первые два способа называют алгебраическими, последний - частотным. В инженерной практике необходимо иметь эффективные и удобные правила проверки устойчивости. Сам по себе критерий не обязан быть необходимым и достаточным условием. Обычно получение такого критерия является делом более сложным, чем отдельно необходимого или достаточного критерия.



Каждому отрицательному вещественному корню α_i соответствует экспоненциально затухающая во времени составляющая $y_{CB}(t)_i$, каждому положительному - экспоненциально расходящаяся, каждому нулевому корню соответствует $y_{CB}(t)_i = \text{const}$ (рис. 4.1.3).

Пара комплексно сопряженных корней с отрицательной вещественной частью определяет затухающие колебания с частотой ω_i , при положительной вещественной части -



расходящиеся колебания, при нулевой - незатухающие (рис. 4.1.4).

только уравнения, где $a_0 > 0$. В противном случае уравнение умножается на -1.

Рассмотренное условие при порядке системы больше 2 является необходимым, но не достаточным условием, и применяется для отсеивания заведомо неустойчивых систем. Необходимые и достаточные условия дают алгебраические критерии Рауса и Гурвица.

Критерий Рауса. Используется в виде алгоритма, по которому заполняется специальная таблица с использованием коэффициентов характеристического уравнения:

1) в первой строке записываются коэффициенты уравнения с четными индексами в порядке их возрастания;

2) во второй строке – аналогично коэффициенты с нечетными индексами;

3) остальные элементы таблицы определяется по формуле: $c_{k,i} = c_{k+1,i-2} - r_i c_{k+1, i-1}$, где $r_i = c_{1,i-2}/c_{1,i-1}$, $i \geq 3$ - номер строки, k - номер столбца.

4) Число строк таблицы на единицу больше порядка характеристического уравнения.

r_i	$i \backslash k$	1	2	3	4
-	1	$c_{11} = a_0$	$c_{21} = a_2$	$c_{31} = a_4$...
-	2	$c_{12} = a_1$	$c_{22} = a_3$	$c_{32} = a_5$...
$r_3 = c_{11}/c_{12}$	3	$c_{13} = c_{21}-r_3 c_{22}$	$c_{23} = c_{31}-r_3 c_{32}$	$c_{33} = c_{41}-r_3 c_{42}$...
$r_4 = c_{12}/c_{13}$	4	$c_{14} = c_{22}-r_4 c_{23}$	$c_{24} = c_{32}-r_4 c_{33}$	$c_{34} = c_{42}-r_4 c_{43}$...
...

Чтобы САУ была устойчива, необходимо и достаточно, чтобы коэффициенты первого столбца таблицы Рауса c_{11} , c_{12} , c_{13} ,... были положительными. Если это не выполняется, то система неустойчива, а количество правых корней равно числу перемен знака в первом столбце.

Достоинство - критерий прост в использовании независимо от порядка характеристического уравнения. Он удобен для использования на ЭВМ. Его недостаток - малая наглядность, трудно судить о степени устойчивости системы,

насколько далеко отстоит она от границы устойчивости.

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & a_7 & a_9 & \dots & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & a_6 & a_8 & \dots & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & a_5 & a_7 & \dots & 0 \\ 0 & a_0 & a_2 & a_4 & a_6 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & a_1 & a_3 & a_5 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & a_n \end{vmatrix}$$

Рис. 4.1.6.

Критерий Гурвица. Гурвиц предложил другой критерий устойчивости. Из коэффициентов характеристического уравнения строится определитель Гурвица Δ по алгоритму:

- 1) по главной диагонали слева направо выставляются все коэффициенты характеристического уравнения от a_1 до a_n ;
- 2) от каждого элемента диагонали вверх и вниз достраиваются столбцы определителя так, чтобы индексы убывали сверху вниз;
- 3) на место коэффициентов с индексами меньше нуля или больше n ставятся нули.

Чтобы САУ была устойчива, необходимо и достаточно, чтобы все коэффициенты характеристического уравнения и все n главных диагональных миноров матрицы Гурвица были положительны. Число определителей Гурвица равно порядку характеристического уравнения n .

Критерий Гурвица применяют при $n \leq 5$. При больших порядках возрастает число определителей, и процесс становится трудоемким. Недостаток критерия Гурвица - малая наглядность. Достоинство - удобен для реализации на ЭВМ. Его часто используют для определения влияния одного из параметров САУ на ее устойчивость. Так равенство нулю главного определителя $\Delta_n = a_n \Delta_{n-1} = 0$ говорит о том, что система находится на границе устойчивости. При этом либо $a_n = 0$ - при выполнении остальных условий система находится на границе апериодической устойчивости, либо предпоследний минор $\Delta_{n-1} = 0$ - при положительности всех остальных миноров система находится на границе колебательной устойчивости. Параметры САУ определяют значения коэффициентов уравнения динамики,

следовательно, изменение любого параметра K_i влияет на значение определителя Δ_{n-1} . Исследуя это влияние можно найти, при каком значении K_i определитель Δ_{n-1} станет равен нулю. Это и будет предельное значение исследуемого параметра, после которого система становится неустойчивой.

ЧАСТОТНЫЕ КРИТЕРИИ УСТОЙЧИВОСТИ САУ.

Частотные методы исследования устойчивости основаны на связи расположения корней характеристического полинома $D(p)$ с годографом этого полинома на комплексной плоскости, т.е. с графиком комплексной функции $D(j\omega)$ при изменении ω от 0 до ∞ . Это графоаналитические методы, позволяющие по виду частотных характеристик САУ судить об их устойчивости. Их достоинство - в простой геометрической интерпретации, наглядности и в отсутствии ограничений на порядок дифференциального уравнения.

Принцип аргумента. Запишем характеристический

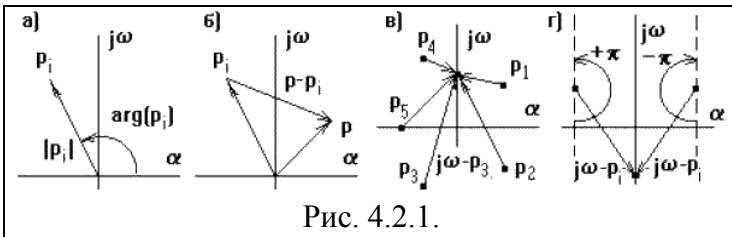


Рис. 4.2.1.

полином САУ в виде

$$D(p) = a_0 (p-p_1) (p-p_2) \dots (p-p_n) = 0,$$

Его корни: $p_i = a_i + j\omega_i = |p_i| \exp(j \arg(p_i))$, где $\arg(p_i) = \arctg(\omega_i/a_i) + k\pi$, $|p_i|$ - значения модулей корней.

Каждый корень можно изобразить вектором на комплексной плоскости (рис. 4.2.1а), тогда разность $p - p_i$ изобразится разностью векторов (рис. 4.2.1б), где p - любое число.

Если менять значение p произвольным образом, то конец вектора $p - p_i$ будет перемещаться по комплексной плоскости, а его начало будет оставаться неподвижным, так как p_i - это конкретное неизменное значение. В частном случае, если на вход системы подавать гармонические колебания с различной частотой ω , то $p = j\omega$, а характеристический полином принимает

вид:

$$D(j\omega) = a_0 (j\omega - p_1) (j\omega - p_2) \dots (j\omega - p_n).$$

При этом концы векторов $j\omega - p_i$ будут находиться на мнимой оси (рис. 4.2.1в). Если менять ω от $-\infty$ до $+\infty$, то каждый вектор $j\omega - p_i$ будет поворачиваться относительно своего начала p_i на угол $+\pi$ для левых и $-\pi$ для правых корней (рис. 4.2.1г).

Характеристический полином можно представить в виде

$$D(j\omega) = |D(j\omega)| \exp(j \arg(D(j\omega))),$$

где $|D(j\omega)| = a_0 |j\omega - p_1| |j\omega - p_2| \dots |j\omega - p_n|$, $\arg(D(j\omega)) = \arg(j\omega - p_1) + \arg(j\omega - p_2) + \dots + \arg(j\omega - p_n)$.

Пусть из n корней m - правые, а $n-m$ - левые, тогда угол поворота вектора $D(j\omega)$ при изменении ω от $-\infty$ до $+\infty$ равен

$$\Delta \arg(D(j\omega)) \Big|_{\omega=-\infty}^{\omega=+\infty} = \sum_{i=1}^n \arg(j\omega - p_i) \Big|_{\omega=-\infty}^{\omega=+\infty} = (n-m)\pi - m\pi,$$

или при изменении ω от 0 до $+\infty$:

$$\Delta \arg(D(j\omega)) \Big|_{\omega=0}^{\omega=\infty} = (n - 2m) (\pi/2). \quad (4.2.1)$$

Отсюда вытекает правило: изменение аргумента вектора D при изменении частоты от $-\infty$ до $+\infty$ равно разности между числом левых и правых корней уравнения $D(p) = 0$, умноженному на π , а при изменении частоты от 0 до $+\infty$ эта разность умножается на $\pi/2$.

Это и есть принцип аргумента. Он положен в основе всех частотных критериев устойчивости. Мы рассмотрим два наиболее распространенных критерия: критерий Михайлова и критерий Найквиста.

Критерий устойчивости Михайлова. Так как для устойчивой САУ число правых корней $m = 0$, то угол поворота вектора $D(j\omega)$ составит

$$\Delta \arg(D(j\omega)) \Big|_{\omega=0}^{\omega=\infty} = n\pi/2. \quad (4.2.2)$$

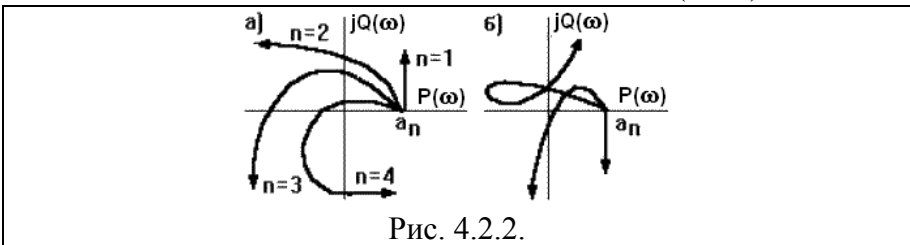


Рис. 4.2.2.

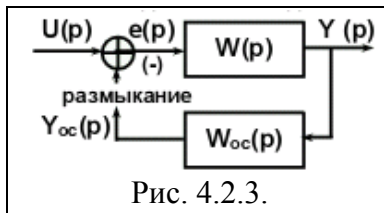
САУ будет устойчива, если вектор $D(j\omega)$ при изменении частоты от 0 до $+\infty$ повернется на угол $n\pi/2$. При этом конец вектора опишет кривую, называемую годографом Михайлова. Для построения годографа выражение (4.1.6) записывается с заменой p на $j\omega$ в форме:

$$a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_{n-1} p + a_n = D(j\omega) = P(\omega) + jQ(\omega),$$

где $P(\omega)$ - вещественная часть, как сумма всех членов характеристического уравнения, содержащих j в четных степенях, Q - мнимая часть выражения. Годограф начинается на положительной полуоси при $D(0) = a_n$, и, при изменении частоты от 0 до ∞ , последовательно проходит против часовой стрелки n квадрантов комплексной плоскости, с уходом в бесконечность в n -ом квадранте (рис. 4.2.2а).

Если это правило нарушается (например, число проходимых кривой квадрантов не равно n , или нарушается последовательность прохождения квадрантов (рис. 4.2.2б)), то такая САУ неустойчива - это и есть необходимое и достаточное условие устойчивости по критерию Михайлова.

Критерий удобен своей наглядностью и используется, если известно уравнение замкнутой САУ. Если кривая проходит вблизи начала координат, то САУ находится вблизи границы устойчивости и наоборот.



Критерий устойчивости Найквиста. Этот критерий основан на связи свойства устойчивости замкнутой системы с формой АФЧХ разомкнутой устойчивой системы. Разомкнутой системой являются все последовательно соединенные блоки от входа системы до точки замыкания обратной связи (рис. 4.2.3). Исследование разомкнутой САУ проще, чем замкнутой, и его можно производить экспериментально.

Передаточная функция W_{pc} разомкнутой САУ:

$$W_{pc}(j\omega) = K_{pc}(j\omega)/H_{pc}(j\omega),$$

с углом поворота фазы в соответствии с выражением (4.2.2):

$$\varphi \arg H_{pc}(j\omega) = n\omega/2, \quad 0 \leq \omega \leq \infty. \quad (4.2.3)$$

АФЧХ замкнутой системы описывается выражением:

$$W_{zc}(j\omega) = W_{pc}(j\omega) / [1 + W_{pc}(j\omega)]. \quad (4.2.4)$$

Обозначим знаменатель этого выражения через $W_1(j\omega)$:

$$W_1(j\omega) = 1 + W_{pc}(j\omega) = 1 + K_{pc}(j\omega)/H_{pc}(j\omega) = N(j\omega)/H_{pc}(j\omega), \quad (4.2.5)$$

где $N(j\omega) = K_{pc}(j\omega) + H_{pc}(j\omega)$, характеристический полином замкнутой системы при $p=j\omega$.

В соответствии со свойствами передаточных функций порядок полинома $N(p)$ не превышает порядка полинома $H_{pc}(p)$, т.к. $N(p) = K_{pc}(p) + H_{pc}(p)$, а порядок полинома $K_{pc}(p)$ меньше порядка полинома $H_{pc}(p)$. Поэтому критерий Михайлова для замкнутой системы соответствует выражению:

$$\varphi \arg N(j\omega) = (n - 2m)(\omega/2), \quad 0 \leq \omega \leq \infty. \quad (4.2.6)$$

где m - число правых корней системы, имеющей в замкнутом состоянии характеристический полином $N(p) = 0$.

Из (4.2.5) следует:

$$\varphi \arg W_1(j\omega) = \varphi \arg N(j\omega) - \varphi \arg H_{pc}(j\omega).$$

С учетом (4.2.3):

$$\varphi \arg W_1(j\omega) = (n - 2m)(\omega/2) - n\omega/2 = -m\omega. \quad (4.2.7)$$

В устойчивой замкнутой системе правых корней в характеристическом уравнении нет, т. е. $m=0$, а, следовательно, условием устойчивости замкнутой системы будет:

$$\varphi \arg W_1(j\omega) = 0. \quad (4.2.8)$$

Условие (4.2.8) выполняется только тогда, когда кривая $W_1(j\omega)$ при изменении частоты от 0 до ∞ не охватывает начала координат комплексной плоскости. Действительно, только в этом случае результирующий поворот вектора $W_1(j\omega)$ при изменении ω от 0 до ∞ будет равен нулю, так как возрастание угла $\varphi(\omega)$, обусловленное движением вектора $W_1(j\omega)$ в положительном направлении (против часовой стрелки), будет компенсироваться таким же убыванием $\varphi(\omega)$, обусловленным движением вектора $W_1(j\omega)$ в отрицательном направлении (по часовой стрелке).

Как видно из (4.2.5), переход на комплексной плоскости

от годографа вектора $W_1(j\omega)$ к годографу вектора АФЧХ разомкнутой системы $W_{pc}(j\omega)$ осуществляется сдвигом кривой $W_1(j\omega)$ влево на -1 , так как $W_{pc}(j\omega) = W_1(j\omega) - 1$. С учетом этой операции, получаем следующую формулировку амплитудно-фазового критерия устойчивости Найквиста: линейная динамическая система, устойчивая в разомкнутом состоянии, устойчива и в замкнутом состоянии, если АФЧХ разомкнутой системы $W_{pc}(j\omega)$ при изменении частоты от 0 до ∞ не охватывает на комплексной плоскости точку с координатами $(-1; j0)$ (рис. 4.2.4, годограф 2).

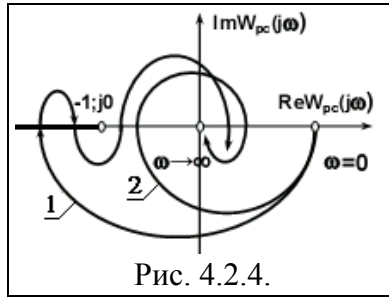


Рис. 4.2.4.

Более общая формулировка критерия Найквиста относится к системам, имеющим так называемую АФЧХ второго рода (рис. 4.2.4, годограф 1), когда $W_{pc}(j\omega)$ пересекает (неограниченное количество раз) вещественную ось левее точки $Re W_{pc}(j\omega) = -1$. Будем считать положительным переход годографа через вещественную ось, если он совершается сверху вниз, и отрицательным, если он совершается снизу вверх. Для таких годографов критерий Найквиста формулируется в следующем виде: линейная динамическая система, устойчивая в разомкнутом состоянии, устойчива и в замкнутом состоянии, если при изменении частоты от 0 до $+\infty$ разность между числом положительных переходов годографа АФЧХ разомкнутой системы через участок вещественной оси $(-1; -\infty)$ и числом отрицательных переходов равна нулю. Из этого условия видно, что система, устойчивая в разомкнутом состоянии и имеющая АФЧХ в форме кривой 1 на рис. 4.2.4, устойчива и в замкнутом состоянии.

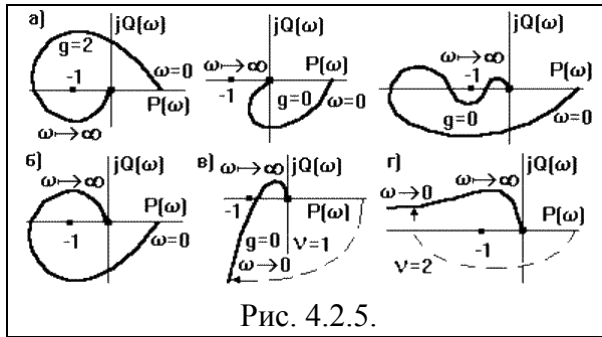


Рис. 4.2.5.

На рис. 4.2.5а приведены АФЧХ разомкнутых САУ, устойчивых в замкнутом состоянии, на рис. 4.2.5б - замкнутая САУ неустойчива.

На рис. 4.2.5в и 4.2.5г показаны АФЧХ разомкнутых астатических САУ, соответственно устойчивых и неустойчивых в замкнутом состоянии. Их особенность в том, что АФЧХ при $\omega \rightarrow 0$ уходит в бесконечность. В этом случае при использовании критерия Найквиста ее мысленно замыкают на вещественную ось по дуге окружности бесконечно большого радиуса.

Критерий Найквиста нагляден. Он позволяет не только выявить, устойчива ли САУ, но и, в случае, если она неустойчива, наметить меры по достижению устойчивости.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ.

Устойчивость представляет собой способность системы автоматического регулирования возвращаться к исходному состоянию после кратковременного внешнего воздействия. Системы автоматического регулирования, как правило, должны быть устойчивыми.

Необходимым и достаточным условием устойчивости линейной системы автоматического регулирования является отрицательность вещественных частей всех корней ее характеристического уравнения. Последнее может быть получено из передаточной функции замкнутой системы, связывающей любые ее вход и выход, путем приравнивания нулю знаменателя передаточной функции. На рис. 7.1 показана структурная схема, к которой может быть приведена любая односвязная линейная система автоматического регулирования

при отсутствии всех внешних воздействий, кроме задающего. Если передаточная функция разомкнутой системы

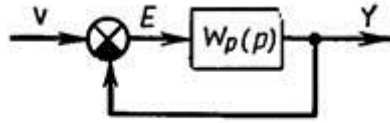


Рис. 7.1

$$W_p(p) = K(p)/D(p)$$

где $K(p)$ и $D(p)$ - полиномы степеней соответственно m и n ($m < n$), то передаточная функция замкнутой системы

$$W_a(p) = \frac{Y(p)}{V(p)} = \frac{W(p)}{1+W(p)} = \frac{K(p)}{K(p)+D(p)}$$

откуда путем приравнивания знаменателя $W_a(p)$ нулю получается характеристическое уравнение замкнутой системы n -й степени:

$$K(p) + D(p) = 0$$

$$A(p) = K(p) + D(p)$$

Обозначая, можно записать характеристическое уравнение в виде

$$A(p) = a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_0 = 0$$

Попытки анализа устойчивости линейных систем автоматического регулирования путем прямого отыскания корней характеристического уравнения наталкиваются на практические трудности, связанные с отсутствием аналитических выражений для корней уравнений степени выше четвертой; для уравнений третьего и четвертого порядков имеющиеся выражения малоудобны. Однако нет необходимости находить значения корней, поскольку для суждения об устойчивости системы нужно знать лишь, что все они расположены левее мнимой оси на плоскости комплексного переменного p . В теории автоматического регулирования пользуются условиями, которые позволяют судить о расположении корней в левой полуплоскости без нахождения их значений; эти условия называются критериями устойчивости.

Главным упрощением, к которому следует стремиться при выводе уравнений звеньев системы, является

их *линеаризация*, т. е. описание линейными дифференциальными уравнениями. Линеаризация нелинейности, содержащейся в уравнении звена, заключается в замене этой нелинейности приближенной линейной зависимостью. Рассмотрим звено, описываемое нелинейной статической зависимостью $Y=\Phi(X)$ (рис. 1-2, а). Пусть установившийся режим звена соответствует значениям входной и выходной величин X_0 и Y_0 (рис. 1-2, б) и отклонения X от X_0 в процессе работы звена достаточно малы. В этом случае исходную нелинейную зависимость $Y=\Phi(X)$ можно разложить в ряд Тейлора в окрестностях точки установившегося режима и, отбросив члены ряда выше первого порядка малости, получить следующую приближенную зависимость:

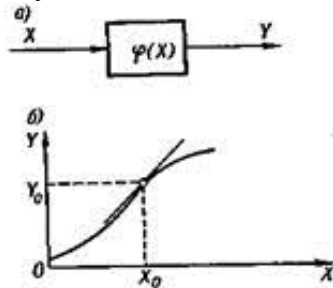


Рис. 1-2. Линеаризация статического звена

$$Y \approx \varphi(X_0) + \left(\frac{d\varphi}{dX} \right)_0 (X - X_0)$$

где $\left(\frac{d\varphi}{dX} \right)_0$ - значение производной функции $\Phi(X)$ по X при подстановке в выражение этой производной $X=X_0$.

Это уравнение можно переписать в таком окончательном виде: $\Delta Y \approx k \Delta X$,

где $D X = X - X_0$; $D Y = Y - Y_0$;

$$k = \left(\frac{d\varphi}{dX} \right)_0 .$$

Проведенная линеаризация имеет простую графическую интерпретацию: она соответствует, как показано на рис. 1-2, б, замене действительной нелинейной характеристики касательной

к ней в точке, соответствующей установившемуся режиму. Коэффициент k в уравнении (1-2) равен тангенсу угла наклона этой касательной относительно оси абсцисс. Поэтому его величина может быть найдена чисто графическим построением.

ЛОГАРИФМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ УСТОЙЧИВОСТИ

Построение АФХ в комплексной плоскости требует трудоёмких вычислений, особенно в тех случаях, когда знаменатель передаточной функции является многочленом высокой степени. Поэтому в ряде случаев пользуются логарифмическими частотными характеристиками.

Метод основывается на возможности суждения об устойчивости замкнутой системы по взаимному расположению ЛАЧХ и ЛФЧХ системы в разомкнутом состоянии. Согласно критерию Найквиста, в случае, если система устойчива, точка $(-1, j0)$ лежит слева от амплитудно-фазовой характеристики первого рода.

Система будет находиться на границе устойчивости, если аргумент АФХ равен $\varphi = -\pi$, а модуль

$$|W(j\omega)| = A(\omega) = 1$$

При этом

$$L(\omega) = 20 \lg |W(j\omega)| = 20 \lg 1 = 0,$$

т.е. ЛАЧХ $L(\omega)$ пересекает ось абсцисс. Точка

пересечения характеризуется частотой среза ω_c (рис. 6.15,

а) Если система устойчива, то при $\varphi = -\pi$ величина

$$A(\omega) = |W(j\omega)| < 1;$$

а

$$L(\omega) = 20 \lg |W(j\omega)| = 20 \lg A(\omega) < 0,$$

т.е. ордината логарифмической амплитудной частотной характеристики будет иметь отрицательный знак (рис. 6.15. б).

Для неустойчивой системы угол $\varphi = -\pi$ соответствует

$$|W(j\omega)| > 1;$$

и

$$L(\omega) = 20 \lg |F(j\omega)| = 20 \lg A(\omega) > 0$$

В этом случае ордината ЛАЧХ будет иметь положительное значение. Либо при $\omega = \omega_2$, $\varphi > \pi$ (рис. 6.15, в).

Применение логарифмического критерия устойчивости даёт возможность определить влияние того или иного параметра системы на её устойчивость и переходный процесс, а также сравнительно просто определить характеристику корректирующего устройства.

Например, на рис. 6.16. показано влияние коэффициента усиления на устойчивость ЛАЧХ. $L_1(\omega)$ и $L_2(\omega)$ будут различны при различных коэффициентах усиления разомкнутой системы k_{p1} и k_{p2} , а ЛФЧХ будут совпадать. Характеристики построены для случая $k_{p1} > k_{p2}$. Построение частотной характеристики позволяют определить запас устойчивости по фазе

$$\gamma = 180^\circ - |\varphi(\omega_2)|$$

и запас по устойчивости амплитуде, как число децибел, на которое нужно увеличить усиление системы, чтобы система достигла границы устойчивости.

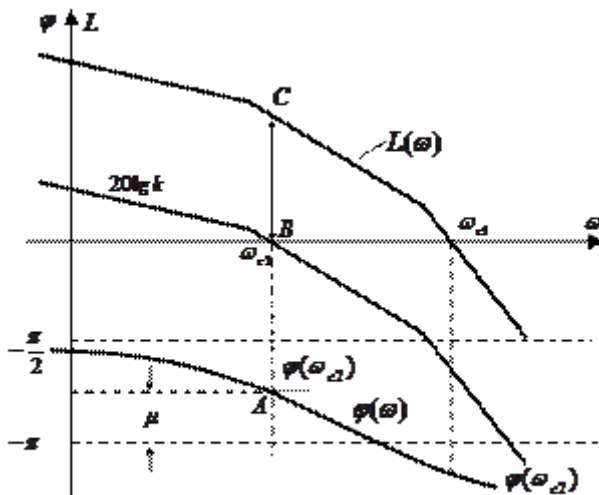


Рис. 6.16.

При заданном коэффициенте усиления k_{y1} логарифмические характеристики будут иметь вид кривых $L(\omega)$ и $\varphi(\omega)$. При частоте среза ω_{c1} фаза составляет $\varphi(\omega_{c1}) > -\pi$, т.е. система неустойчива.

Необходимо найти такое значение коэффициента k_{y1} , при котором обеспечивается запас по фазе, равный μ . Для этого на графике откладывается значение $\varphi_c = -180^\circ - \mu$, получим точку А, через которую проводим вертикаль до пересечения с частотой ω_{c2} на оси абсцисс. Через эту точку проводится $L_2(\omega)$ параллельно $L_1(\omega)$. Находится новое значение

коэффициента усиления $k_{y1} = \frac{k_1}{\Delta k}$, где изменение коэффициента усиления Δk определится из соотношения

$$20 \lg \Delta k = B_c \text{ дб.}$$

Для систем, имеющих АФХ второго рода, т.е. «клювообразные» и более сложные по своей форме, практически удобнее пользоваться формулировкой логарифмического критерия устойчивости, вытекающей из

правила о числе переходов. Для примера рассмотрим частотные характеристики $H(j\omega)$ и логарифмические частотные характеристики $L(\omega)$ и $\varphi(\omega)$ для условно устойчивой системы.

На основании этих характеристик и правил о числе переходов ЛФЧХ $\varphi(\omega)$ через линию $\varphi = -180^\circ$ логарифмический критерий устойчивости можно сформулировать следующим образом:

Система, устойчивая в разомкнутом состоянии, будет устойчивой и в замкнутом состоянии, если разность между числами положительных и отрицательных переходов ЛФЧХ $\varphi(\omega)$ через прямую $\varphi = -\pi$ равна нулю в диапазоне частот, в котором ЛФЧХ $L(\omega)$ положительна (рис.6.17).

На основании этого критерия система, имеющая характеристику $L_2(\omega)$ - устойчива, а система, имеющая характеристику $L_1(\omega)$ (при меньшем коэффициенте усиления k_{pi}) и система, имеющая характеристику $L_3(\omega)$ (при большем k_p) будут неустойчивыми.

С помощью критериев устойчивости можно определить, устойчива ли система при заданных её параметрах (постоянных времени, коэффициентах усиления). Однако, на практике, например при проектировании САР, часто ставится задача: при заданных параметрах за исключением одного - двух параметров, изменяющихся в широких пределах, требуется определить, при каких значениях этих параметров система устойчива. Некоторые параметры системы могут изменяться в процессе эксплуатации. В этих случаях требуется определить, будет ли устойчивой система при изменении этих параметров.

Поставленные задачи могут быть решены, если установить область возможных изменений тех или иных параметров. Для этого строятся области устойчивости.

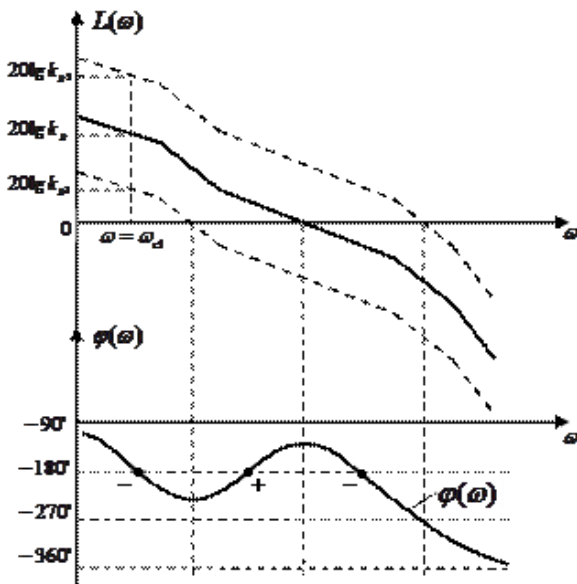


Рис. 6.17.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ (САР) С ТРАНСПОРТНЫМ ЗАПАЗДЫВАНИЕМ.

На практике часто встречаются системы, содержащие трубопроводы, транспортеры, т.е. звенья, передающие сигнал без искажений, но с запаздыванием во времени $y(t) = x(t - \tau)$. Эти звенья называют звеньями чистого, или транспортного, запаздывания. Их передаточная функция имеет вид:

$$W_{\tau}(p) = e^{-p\tau}, \quad (3.45)$$

где τ — время запаздывания.

Условием устойчивости для САР с запаздыванием так же, как и для любой САР, является отсутствие корней характеристического уравнения с положительной вещественной частью. Характеристическое уравнение линейной системы с транспортным запаздыванием из-за наличия множителя $e^{-p\tau}$ является трансцендентным уравнением.

Поэтому для оценки устойчивости САР с запаздыванием алгебраические критерии устойчивости (по крайней мере, в их обычной форме) непригодны. Установить устойчивость системы с запаздыванием можно, пользуясь частотными критериями

устойчивости. Выведенные ранее частотные критерии устойчивости справедливы и для систем с запаздыванием. В частности, можно использовать критерий Михайлова или критерий Найквиста.

При использовании критерия Найквиста АФЧХ разомкнутой системы, имеющей звено транспортного запаздывания, можно представить в следующем виде:

$$W(j\omega) = W_0(j\omega)W_\tau(j\omega),$$

где $W_0(j\omega)$ — АФЧХ разомкнутой системы без учета звена транспортного запаздывания; $W_\tau(j\omega)$ — АФЧХ звена транспортного запаздывания.

Поскольку $W_\tau(j\omega) = e^{-j\omega\tau}$, то АФЧХ разомкнутой системы с запаздыванием будет иметь вид:

$$W(j\omega) = W_0(j\omega)e^{-j\omega\tau}. \quad (3.46)$$

Из уравнения (3.46) следует, что наличие последовательного запаздывающего звена не изменяет амплитудную характеристику, но уменьшает фазовую функцию системы на величину, равную $\omega\tau$. Таким образом, график АФЧХ системы (рис. 3.6) смещается на величину угла $\omega\tau$ относительно графика $W_0(j\omega)$. Такая деформация характеристики приближает АФЧХ к точке на плоскости с координатами $(-1; j0)$ и может привести систему к неустойчивости.

Пример 3.1

В системе автоматического регулирования с единичной отрицательной обратной связью прямая связь представляет собой последовательное соединение инерцион-

ного звена первого порядка с передаточной функцией $W_1(p) = \frac{k}{1 + T_p p}$ и звена с чистым

$$W_2(p) = e^{-pT_d}$$

запаздыванием с передаточной функцией $W_2(p) = e^{-pT_d}$. Коэффициент усиления инерционного звена $k = 10$, постоянная времени $T_p = 0,5$ с.

Определите критическое запаздывание T_d , т.е. предельное запаздывание, выше которого система становится неустойчивой.

Решение

Передаточная функция заданной разомкнутой системы будет равна:

$$W(p) = W_1(p) \cdot W_\tau(p) = \frac{k \cdot e^{-p\tau}}{1 + Tp}$$

Амплитудно-фазовая частотная характеристика разомкнутой системы:

$$W(j\omega) = \frac{k \cdot e^{-j\omega\tau}}{1 + j\omega T}$$

Для решения задачи воспользуемся критерием Найквиста, согласно которому АФЧХ разомкнутой системы не должна охватывать точку с координатами $(-1; 0)$, т.е. модуль АФЧХ для критической частоты будет равен единице, а фаза будет равна $-\pi$.

Найдем значение критической угловой частоты $\omega_{кр}$, при которой модуль АФЧХ будет равен единице из формулы:

$$|W(p)| = \frac{k}{\sqrt{1 + \omega_{кр}^2 T^2}} = 1.$$

$$\omega_{кр} = \frac{\sqrt{k^2 - 1}}{T} = \frac{\sqrt{10^2 - 1}}{0,5} = 19,9 \text{ с.}$$

Критическое время запаздывания $t_{кр}$ найдем из условия, что фаза (φ АФЧХ для критической частоты $\omega_{кр}$ будет равна $-\pi$. Это условие записывается так:

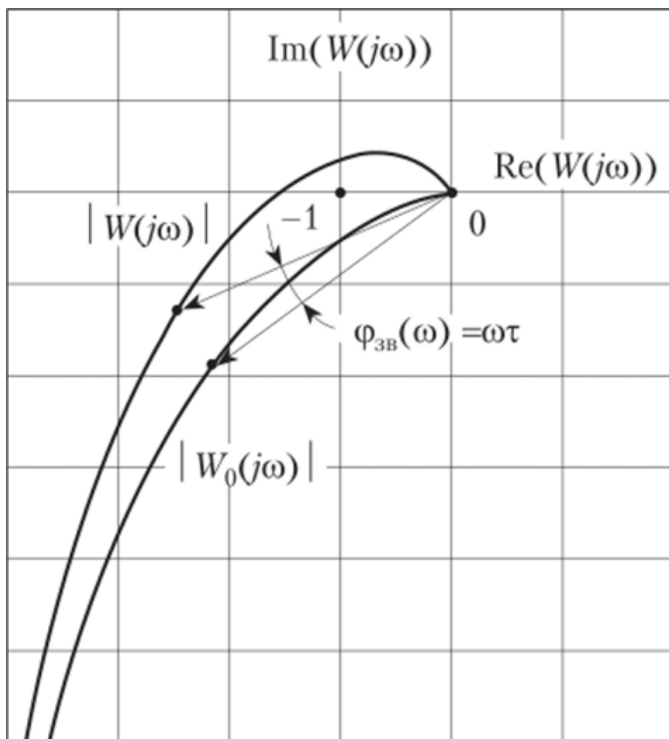


Рис. 3.6. АФЧХ САР со звеном транспортного запаздывания

Отсюда

Отсюда

$$\varphi(\omega_{кр}) = -\arctg(\omega_{кр}T) - \omega_{кр}\tau_{кр} = -\pi.$$

$$\tau_{кр} = \frac{\pi - \arctg(\omega_{кр}T)}{\omega_{кр}} = \frac{3,14 - 1,471}{19,9} = 0,084 \text{ с.}$$

Таким образом, критическое время запаздывания $\tau_{кр} = 0,084 \text{ с.}$

Такой же ответ можно получить в интегрированном пакете MathCad, если воспользоваться функцией Find для решения системы уравнений и нахождения нескольких переменных:

$$\omega := 10 \quad \tau := 0.1$$

Given

$$\left| \frac{k \cdot e^{-j\omega\tau}}{1 + j \cdot \omega \cdot T} \right| = 1$$

$$\arg\left(\frac{k \cdot e^{-j\omega\tau}}{1 + j \cdot \omega \cdot T}\right) = -\pi$$

$$\omega > 0 \quad \tau > 0$$

$$\text{Find}(\omega, \tau) = \begin{pmatrix} 19.9 \\ 0.084 \end{pmatrix}$$

Жирный знак равенства в системе уравнений при использовании функции Find набирается нажатием клавиш [Ctrl] + [=]. Заметим, что условие охвата точки с координатами (-1; 0) может быть записано иначе, а именно через проекции вектора на действительную и мнимую оси, т.е. через действительную и мнимую составляющие. В этом случае решение выглядит так:

$$\omega := 10 \quad \tau := 0.1$$

Given

$$\operatorname{Re}\left(\frac{k \cdot e^{-j\omega\tau}}{1 + j \cdot \omega \cdot T}\right) = -1$$

$$\operatorname{Im}\left(\frac{k \cdot e^{-j\omega\tau}}{1 + j \cdot \omega \cdot T}\right) = 0$$

$$\omega > 0 \quad \tau > 0$$

$$\operatorname{Find}(\omega, \tau) = \begin{pmatrix} 19.9 \\ 0.084 \end{pmatrix}$$

Таким образом, искомые значения совпадают при всех способах решения.

Лекция 5

Тема: Надёжность и технико-экономическая эффективность работы систем автоматики

Вопрос 1. Понятия и определения. Технико-экономическая оценка работы систем автоматики. Пути повышения надёжности и безотказности работы систем автоматики.

Общие сведения о надёжности автоматических систем
Для оценки поведения автоматической системы в эксплуатационных условиях используется понятие надёжности системы. При эксплуатации автоматическая система может подвергаться воздействию: механических нагрузок (вибраций, ударов, постоянного ускорения); электрических нагрузок (напряжения, электрического тока, мощности); окружающих условий (температура, влажность, давление).

Влияние указанных факторов проявляется в виде отклонений параметров системы от номинальных (расчетных) значений. Эти отклонения могут быть настолько

значительными, что система становится непригодной к использованию, так как возникновение больших отклонений параметров от расчетных значений при эксплуатации системы приводит к аварии или к появлению брака в выпускаемой продукции.

Когда система перестает удовлетворять предъявляемым к ней требованиям, систему считают отказавшей. Следовательно, надежность является одной из характеристик качества системы, поэтому она, как и другие характеристики системы (точность, быстродействие), должна оцениваться количественно на основе анализа технических параметров системы в эксплуатационных условиях.

Так как на отдельные технические параметры системы оказывают влияние различные факторы (схемные, конструктивные, производственные и эксплуатационные) и учесть их аналитически при детерминированном подходе к анализу системы невозможно, то количественная оценка надежности системы возможна только на основе теории вероятностей или ее специальных разделов (теории случайных процессов и математической статистики).

Надежность - свойство системы сохранять во времени и в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность системы выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях эксплуатации.

Функции системы определяются целевым ее назначением. Автоматизированная система управления - это многофункциональная система. Вследствие воздействия возмущающих воздействий система может находиться в разных состояниях, обеспечивающих выполнение заданных ей функций. Однако, в каждом таком состоянии качество выполнения системой функций не будет одинаковым. Например, чем больше отклонение выходных параметров, характеризующих выполняемую функцию от заданных, тем менее качественно работает система, т.е. система менее эффективна. Под эффективностью системы понимают вероятность выполнения системой заданных функций при определенном значении параметра.

Таким образом, надежность автоматической системы с учетом возможных ее состояний должна определяться по формуле полной вероятности.

Если система может находиться в счетном множестве состояний, то надежность определяется формулой:

; (1.1)

где: $H_i(t_f)$ -- вероятность i -го состояния системы при условиях эксплуатации f ;

$E(H_i)$ -- эффективность i -го состояния;

t -- требуемый интервал времени выполнения задачи;

K -- число состояний.

В некоторых работах оценка качества автоматической системы разделяется на две задачи -- исследование точности и надежности. Ту или иную задачу можно решить соответствующим выбором функции эффективности состояния системы.

Надежность, в сущности, является характеристикой эффективности системы. Если для оценки качества автоматической системы достаточно характеризовать ее надежностью выполнения системой функций в различных состояниях, то надежность совпадает с эффективностью системы.

Обобщенное количественное значение надежности системы в большинстве случаев трудно непосредственно получить из первичной информации, кроме того, она не позволяет оценить влияние различных этапов разработки и эксплуатации системы, поэтому надежность целесообразно рассматривать по трем главным составляющим, которые являются свойствами системы и могут характеризоваться как качественно, так и количественно:

-безотказность;

-восстанавливаемость (ремонтпригодность);

-готовность;

Безотказность - свойство системы сохранять работоспособность в течение требуемого интервала времени непрерывно без вынужденных перерывов.

Безотказность системы является одной из главных и определяющих составных частей надежности автоматической системы.

Для фиксированного интервала времени безотказной работы и заданных условий эксплуатации автоматическая система может находиться в одном из двух состояний: работоспособном (состояние, при котором значения параметров, характеризующих способность системы выполнять заданные функции, находятся в пределах, установленных нормативно-технической документацией) и неработоспособном (состояние системы, при котором значение хотя бы одного параметра не находится в указанных пределах).

Эти состояния системы представляют противоположные события, поэтому для них справедливо равенство, которое будем в дальнейшем называть основным статическим уравнением безотказности системы:

$$P+Q=1 \quad (1.2)$$

где: P -- безотказность (надежность) системы;

Q -- вероятность возникновения отказа системы.

Как известно, автоматическая система представляет собой комплекс отдельных приборов, не связанных между собой на заводе-изготовителе сборочными и монтажными операциями, но имеющих общее эксплуатационное назначение. Систему в целом можно представить рядом более простых подсистем.

Безотказность автоматической системы может служить лишь общей характеристикой системы, не позволяющей проследить влияние безотказности отдельных ее частей на безотказность автоматической системы в целом. Для того чтобы иметь возможность проводить такой анализ, введем понятия элемента и системы.

Элемент - составная часть системы, имеющая определенное назначение и выполняющая требуемые функции и которая рассматривается без дальнейшего деления как единое целое.

Система - совокупность элементов, взаимодействующих между собой в процессе выполнения заданных функций.

Понятия «система» и «элемент» выражены одно через другое и условны: то, что является системой для одних задач, для других принимается элементом в зависимости от целей изучения, требуемой точности, уровня знаний о надежности и т.д. Даже такая сложная система, как АСУ ТП, может рассматриваться как элемент более сложной системы управления предприятием.

Разделение автоматической системы на элементы зависит от решения конкретной задачи при оценке ее надежности. После того как система или прибор разделены на элементы, в качестве основной характеристики элемента, при анализе надежности, можно считать его безотказность. Это позволяет в большинстве случаев при оценке безотказности прибора практически непосредственно не интересоваться функциональными характеристиками элементов, их конструктивным оформлением и т. д.

Для определения безотказности элементов справедливо равенство (2.1). При получении расчетных формул можно пользоваться как характеристикой безотказности, так и ее противоположной величиной - вероятностью отказа. В зависимости от конкретной задачи та или другая характеристика является более удобной. Иногда при получении расчетных формул, а также при оценке степени улучшения системы, приборов или элементов наиболее удобной характеристикой является величина, противоположная безотказности -- вероятность отказа.

Например. Пусть безотказность усилительного тракта системы $P_0=0,99$. В результате применения дублирования тракта его безотказность возросла и стала равной $P=0,9999$. Необходимо оценить степень улучшения безотказности усилительного тракта.

Степень увеличения безотказности будем оценивать коэффициентом p , представляющим отношение безотказности усовершенствованной схемы к безотказности первоначальной схемы, а степень уменьшения вероятности отказа -- коэффициентом S_p , представляющим отношение

соответствующих вероятностей отказа
 $S_p = P/P_0 = 0,9999/0,99 = 1,01$.

Тогда в первом случае если воспользоваться коэффициентом S_p , то безотказность прибора увеличивается в 1,01 раза или на 1%, что, на первый взгляд, может показаться не очень существенным, хотя в действительности безотказность прибора повышается значительно.

Если же воспользоваться коэффициентом S ($S = Q/Q_0 = 1 \cdot 10^{-4} / 1 \cdot 10^{-2} = 1 \cdot 10^{-2}$) то вероятность отказа усовершенствованной схемы по сравнению с первоначальной схемой уменьшается в 100 раз.

Такая оценка степени улучшения системы является более удобной и наглядной, несмотря на то, что она отражает одну и ту же объективную сущность изменения качества системы.

Наряду с методами оценки безотказности автоматических систем по выходным параметрам системы, можно также применять методы оценки безотказности системы по ее входным воздействиям, которыми в частном случае являются возмущения или нагрузки, характеризующие условия эксплуатации.

Восстанавливаемость - свойство системы, заключающееся в ее приспособленности к предупреждению, обнаружению и устранению причин возникновения отказов, а также поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонтов.

Восстановлением называется событие, заключающееся в переходе системы из неработоспособного состояния в работоспособное, вследствие не только корректировки, настройки, ремонта, но и вследствие замены отказавшего оборудования или элемента на работоспособный. Соответственно, к невосстанавливаемым относят системы, восстановление которых непосредственно после отказа считается нецелесообразным или невозможным, а к восстанавливаемым - системы в которых производится восстановление непосредственно после отказа.

Одна и та же система в различных условиях применения может быть отнесена к невозстанавливаемым (например, если она расположена в необслуживаемом помещении, куда запрещен доступ персонала во время работы технологического агрегата) и к восстанавливаемым, если персонал сразу же после отказа может начать восстановление.

Восстанавливаемость автоматической системы является характеристикой ее качества, поэтому восстанавливаемость можно определить как свойство системы, позволяющее обслуживающему персоналу определенной квалификации восстановить систему при заданных окружающих условиях.

Под количественным значением восстанавливаемости системы понимается вероятность того, что параметры ее будут восстановлены до требуемых значений за данный интервал времени обслуживающим персоналом определенной квалификации при заданных окружающих условиях.

Низкая восстанавливаемость автоматических систем даже при сравнительно приемлемых характеристиках безотказности приводит к значительным расходам на эксплуатацию систем.

Восстанавливаемость систем в значительной степени влияет на готовность системы к выполнению заданных ей функций, что имеет важное значение при подготовке системы к началу рабочего цикла или смены, в системах автоматической блокировки и др.

Восстановление системы может быть двух типов:

- профилактическое,
- корректирующее.

Профилактическое, или плановое восстановление, предупреждает отказы или неправильное функционирование системы настройкой, регулировкой, а также чисткой, смазкой системы и т. п. Профилактическое восстановление с целью предупреждения отказов системы при работе включает также замену узлов или деталей системы, которые имеют критические значения параметров.

Корректирующее, или неплановое восстановление, требуется при отказах системы. При этом регулируют параметры системы

или заменяют детали вследствие их отказа, или в результате недопустимого изменения параметров системы в рабочий период.

Восстанавливаемость и не восстанавливаемость представляют противоположные события, поэтому, как и в случае безотказности системы, основное уравнение восстанавливаемости имеет вид

$$P_v + Q_b = 1 \quad (1.3)$$

где P_v - восстанавливаемость;

Q_b - не восстанавливаемость системы.

Восстанавливаемость системы определяется двумя группами основных факторов.

Первую группу составляют факторы, относящиеся к схеме и конструкции системы (сложность системы, взаимозаменяемость отдельных узлов и блоков, конструктивное оформление системы для удобства обслуживания, доступность к отдельным элементам и некоторые другие). Анализ каждого из этих факторов представляет сложную задачу.

Вторую группу составляют эксплуатационные факторы (опыт, подготовка и мастерство обслуживающего персонала, а также степень совершенства руководства обслуживающим персоналом, методика проверочных испытаний системы, совершенство снабжения запасными частями и др).

Большинство факторов, определяющих восстанавливаемость системы, трудно оценить количественно и тем более определить экспериментально, поэтому систему надо проектировать таким образом, чтобы исключить влияние факторов, не поддающихся количественной оценке.

Восстанавливаемость можно существенно увеличить, применяя современные методы обнаружения и устранения неисправностей в системе. Эти методы развиваются в трех направлениях:

- 1) создание встроенных в систему диагностирующих устройств или применение специальных автоматических тестеров;
- 2) разработка методов и оборудования для граничных испытаний позволяющих профилактически заменять элементы,

параметры которых в значительной степени изменились вследствие износа или старения;

3) перераспределение функций, выполняемых элементами при появлении отказов, и самонастройка параметров системы, При этом структура системы выбирается таким образом, чтобы элементы, принявшие на себя функции отказавших элементов, в условиях повышенных на них нагрузок были бы в состоянии обеспечить эффективную работоспособность системы до окончания выполнения стоящих перед системой задач. Отказавшие элементы можно восстановить в период проведения профилактических мероприятий.

Квалификация и подготовка обслуживающего персонала оказывает в большинстве случаев решающее влияние на восстанавливаемость системы. Неопытность обслуживающего персонала приводит не только к увеличению времени восстановления системы, но и к появлению новых отказов.

Готовность - свойство системы выполнять возложенные на нее функции в любой произвольно выбранный момент времени в установившемся процессе эксплуатации. Готовность определяется как безотказностью, так и восстанавливаемостью системы.

Готовность системы определяется ее безотказностью и восстанавливаемостью, которые в свою очередь, как было показано выше, являются вероятностными характеристиками системы. Таким образом, готовность системы также является вероятностной характеристикой.

Под готовностью будем понимать вероятность того, что система в рассматриваемый момент времени готова для выполнения предназначенных ей функций, т.е. система должна быть готова к выполнению предназначенных ей функций к началу рабочего интервала времени. Для ряда автоматических систем связи, защиты, блокировки обычно требуется постоянная готовность.

В статистическом смысле общим показателем готовности может служить доля систем, готовых для использования в течение требуемого рабочего интервала времени.

В общем виде готовность системы определяется через вероятность отказа Q и невозстанавливаемость Q_v по следующей формуле:

$$P_r = 1 - Q_v Q \quad (1.4)$$

Уравнение (1.4) показывает, что готовность системы при фиксированной одной характеристике безотказности или восстанавливаемости может быть повышена за счет увеличения другой. В частности, при низкой безотказности системы готовность может быть увеличена соответствующим увеличением восстанавливаемости. Если восстановление систем не производится, то, как следует из уравнения (1.4), готовность определяется безотказностью системы.

2. Показатели надежности систем

Анализ надежности автоматических систем и ее составляющих может быть разделен на две задачи: статическую и динамическую. Надежность системы (при заданной схеме и конструкции) в основном зависит от двух параметров:

- требуемого времени безотказной работы,
- условий эксплуатации системы.

Когда эти параметры фиксируются, то рассматривается статическая задача, которая базируется на основных положениях теории вероятностей.

При статическом подходе надежность характеризуется числом подобно тому, как динамические звенья автоматической системы в установившемся режиме характеризуются коэффициентом передачи. Указанная аналогия позволит пользоваться при анализе надежности системы ее структурными представлениями, что наряду с наглядностью упрощает также составление уравнений надежности и их анализ.

Когда требуемое значение интервала времени безотказной работы или условия эксплуатации системы не фиксируются при анализе надежности, возникает динамическая задача. Основным математическим аппаратом при решении динамической задачи наряду с классической теорией вероятностей является теория случайных процессов. Основные зависимости и уравнения динамической задачи становятся более сложными, чем в статической задаче, поэтому решать ее удобно

с помощью преобразований Лапласа, Меллина, z-преобразования.

Применение для решения динамических задач теории надежности указанных преобразований позволяет, так же как и в статической задаче, пользоваться структурными методами. Обычно с решением динамической задачи связывается надежность восстанавливаемых систем.

Динамическая задача дает возможность также разработать критерии надежности систем или ее отдельных составляющих. Учитывая, что надежность системы является вероятностной характеристикой, для разработки критериев можно использовать функции распределения вероятностей в зависимости от рассматриваемого динамического параметра или моменты функций распределения вероятностей.

Функции распределения вероятностей представляют наиболее полную информацию о надежности системы. При этом в зависимости от целей исследования, особенностей рассматриваемой системы могут применяться интегральные, дифференциальные или условные функции распределения вероятностей.

Показателями надежности называются количественные характеристики одного или нескольких свойств, составляющих надежность системы. Выбор тех или иных показателей продиктован видом исследуемой системы. В теории надежности различают восстанавливаемые и невосстанавливаемые системы. К невосстанавливаемым относят системы, восстановление которых непосредственно после отказа считается нецелесообразным или невозможным, а к восстанавливаемым - в которых проводится восстановление непосредственно после отказа.

Для невосстанавливаемых систем, как правило, ограничиваются показателями безотказности. Эти же показатели описывают системы, в принципе подлежащие восстановлению после отказов, но поведение которых целесообразно рассматривать до момента первого отказа. К их числу, например, можно отнести системы, чьи отказы чрезвычайно редки и вызывают особо тяжелые последствия.

К показателям надежности невосстанавливаемых систем относятся:

1. Интегральный закон распределения времени безотказной работы;
2. Интегральный закон распределения времени до отказа;
3. Дифференциальный закон распределения времени исправной работы устройства до первого отказа;
4. Среднее время безотказной работы (средняя наработка до отказа);
5. Интенсивность отказов.

Прежде чем перейти к показателям надежности, необходимо ввести понятие наработки до отказа.

Наработка до отказа (T) - случайная величина, представляющая собой длительность работы невосстанавливаемой системы до наступления отказа. Для большей части систем наработка до отказа измеряется единицами времени, но она может измеряться и числом включений, срабатываний, циклов. Очевидно, что для систем, работающих без отключений (кроме отказов), наработка до отказа совпадает с временем безотказной работы.

Основным показателем для количественной оценки безотказности элемента, аппаратуры, приборов и АСУ является вероятность безотказной работы $P(t)$ в заданном интервале времени наработки t . Например, $P(1000) = 0,99$ означает, что из множества элементов данного вида 1% откажет раньше 1000 ч, или что для одного элемента его шансы проработать безотказно 1000 ч составляют 99%. Чем меньше наработка, тем больше $P(t)$. Показатель $P(t)$ полностью определяет безотказность невосстанавливаемых элементов, но применим также и к восстанавливаемым элементам до первого отказа. Вероятность безотказной работы статистически определяется отношением числа элементов n_i , безотказно проработавших до момента времени t , к числу элементов N работоспособных в начальный момент времени $t = 0$

$$P_i^* = n_i / N. \quad (2.1)$$

При значительном увеличении числа элементов N статистическая вероятность P_i^* сходится к вероятности $P(t) = P\{T > t\}$ (2.2)

где T-- наработка до отказа.

Так как исправная работа и отказ -- события противоположные, то они связаны очевидным соотношением:

$$Q(t)=1 - P(t) \quad (2.3)$$

где Q(t) --вероятность отказа, или интегральный закон распределения случайной величины -- времени работы до отказа.

Статистическое значение вероятности отказа равно отношению числа отказавших элементов к начальному числу испытываемых элементов:

$$Q_i^*=1-n_i/N=(N-n_i)/N \quad (2.4)$$

Производная от вероятности отказа $f(t)=dQ(t)/dt=-dP(t)/dt$ есть дифференциальный закон, или плотность распределения случайной величины -- времени исправной работы устройства до первого отказа и характеризует скорость снижения вероятности безотказной работы во времени.

Среднее время безотказной работы T_{cp} представляет собой математическое ожидание времени работы устройства до отказа (2.5)

Статистическая формула для расчета T_{cp} :

$$(2.6)$$

где T_i -- время безотказной работы I-го устройства; N - общее число элементов.

Интенсивностью отказов (t) называют отношение плотности распределения времени исправной работы к вероятности безотказной работы невозстанавливаемого устройства, которая взята для одного и того же момента времени t .

$$(t)=f(t)/P(t)=-dP/d(t)/P(t). \quad (2.7)$$

Статистическая формула:

$$(t)^*=2(N_1-N_2)/t(N_1+N_2) \quad (2.8)$$

где N_1 -- начальное количество исправных элементов; N_2 -- количество исправных устройств через время t.

Интенсивность отказов является наиболее удобной характеристикой безотказности систем и элементов. Как показывает опыт обработки статистических данных по эксплуатации различного оборудования, интенсивность отказов

автоматических систем, а также отдельных элементов не может быть аппроксимирована аналитической зависимостью, соответствующей только одному теоретическому закону безотказности.

Обработка большого количества информации об отказах автоматических систем позволила получить общую качественную форму зависимости интенсивности отказов от времени (рис. 2.1).

На кривой, приведенной на рис.2.1 можно выделить три характерные области:

1) начальных отказов П (область приработки); 2) случайных отказов С (область зрелости); 3) отказов вследствие старения И (область стрости).

В области П интенсивность отказов сначала возрастает, достигает максимального значения и затем уменьшается.

Рис. 2.1 Зависимость интенсивности отказов от времени.

Верхняя граница области определяется переходом интенсивности отказов в зону постоянных значений. Начальные отказы могут быть обусловлены дефектами материалов, а также главным образом производственными дефектами и некоторыми другими факторами. Причины начальных отказов можно устранить опытной эксплуатацией системы, тренировкой в специальных условиях и режимах работы в течение периода времени, называемого периодом приработки. Продолжительность периода приработки, как показывает опыт, зависит от числа дефектов в системе.

В области случайных отказов интенсивность отказов остается величиной постоянной и определяется сложностью системы, качеством применяемых элементов и режимам их работы, условиями эксплуатации и некоторыми другими факторами. Интервал времени, в течение которого интенсивность отказов постоянна, представляет основной рабочий период систем. В некоторых случаях он совпадает с минимальным значением производственного ресурса системы. Начало роста интенсивности отказов определяет верхнюю границу области случайных отказов и нижнюю границу отказов из-за изношенности. С некоторым допуском возникновение

таких отказов может служить критерием долговечности. Следует иметь в виду, что для некоторых систем долговечность может быть меньше, чем среднее время безотказной работы системы, рассчитанное как величина, обратная интенсивности отказов. Это обстоятельство следует учитывать при назначении гарантийного срока работы системы.

В области И интенсивность отказов сильно возрастает вследствие износа отдельных элементов. В восстанавливаемых системах в области И интенсивность отказов имеет колебательный характер, причем амплитуда и частота колебаний зависят от долговечности отдельных элементов и организации профилактических мероприятий при эксплуатации системы.

В расчетах надежности необходимо учитывать законы распределения случайной величины - времени работы системы до возникновения отказа. Для дискретных случайных величин применяются биномиальный закон распределения и закон Пуассона. Для непрерывных случайных величин применяются экспоненциальный закон, гамма-распределение, закон Вейбулла, нормальный закон.

Например, закон Пуассона определяет распределение числа m случайного события за время t . Используется для определения вероятности того, что в сложном устройстве за время t произойдет p отказов.

Экспоненциальный закон применяется для анализа сложных изделий, прошедших период приработки, а также для систем, работающих в тяжелых условиях под воздействием механических и климатических нагрузок. Типовые элементы радиоэлектроники аппаратуры подчиняется экспоненциальному закону распределения времени отказов в области внезапных отказов с s -кривой (рис. 2.2). Вероятностные характеристики отказов определяются формулами:

(2.9)

Графики изменения показателей надежности при экспоненциальном распределении представлены на рис. 2.2.

А) Б)

Рис. 2.2. Показатели надежности при экспоненциальном (А) и нормальном (Б) законе распределения времени безотказной работы.

Основным характерным свойством экспоненциального распределения является то, что вероятность безотказной работы системы на любом интервале времени не зависит от длины этого интервала и не зависит от времени, предшествующей работы системы, т.е. от ее «возраста».

Так как для экспоненциального распределения характерно постоянство интенсивности отказов во времени, то область применения этого закона - системы и элементы, где можно не учитывать ни период приработки, и участок старения и износа (например, многие средства вычислительной техники и регулирования).

Нормальный закон распределения времени исправной работы изделия применяется для области И -кривой (рис. 2.1). Закон применяется, когда отказы системы зависят от большого числа однородных по своему влиянию факторов в процессах износа, старения. Отчет времени t при нормальном законе ведут с начала эксплуатации системы. Интенсивность отказов монотонно возрастает:

;(2.10)

где - среднеквадратичное отклонение времени безотказной работы системы.

Графики изменения показателей надежности при нормальном распределении представлены на рис. 2.2.

Нормальное распределение, в принципе, описывает поведение случайных величин в диапазоне от (- ; +), но так как наработка до отказа является неотрицательной величиной, то используют усеченное нормальное распределение.

Распределение Вейбулла-Гнеденко применяется для описания надежности ряда электронных и механических технических средств, включая период приработки. Это двухпараметрическое распределение, где параметр k определяет вид плотности распределения, m - его масштаб. Так, при $k=1$ распределение Вейбулла совпадает с экспоненциальным, когда интенсивность отказов постоянна; при $k.>1$ интенсивность

отказов возрастет; при $k < 1$ интенсивность отказов убывает.
Функция надежности при распределении Вейбулла имеет вид:
; (2.11)

3. Показатели надежности восстанавливаемых систем

После каждого отказа восстанавливаемой системы следует ее восстановление, проводимое заменой отказавшего элемента на идентичный работоспособный или проведением ремонтных операций. Так же, как и наработка до первого отказа у невосстанавливаемых системы, моменты наступления отказов восстанавливаемой системы являются случайными. Также случайной является и продолжительность работ по проведению восстановления, но время восстановления, как правило, значительно меньше времени между отказами, поэтому им пренебрегают. На рис. 3.1 представлен график функционирования восстанавливаемой системы (элемента).

Рис. 3.1 К определению понятия потока отказов.

t_1 ; t_2 ; t_n - моменты времени, в течение которых происходит отказ и восстановление.

k_1 ; k_2 ; k_n - наработки между отказами.

Последовательность отказов, происходящих один за другим в случайные моменты времени, носит название потока отказов. Понятие потока отказов является одним из основных при рассмотрении систем с восстановлением. Поток отказов задается двумя способами: первый способ заключается в изучении некоторого дискретного случайного процесса, заданного числом отказов на промежутке времени $(0, t)$; второй способ, заключается в изучении последовательности непрерывных случайных наработок между отказами. В том и другом случае пренебрегают продолжительностью восстановления системы, а поток отказов называют простейшим.

Простейший поток обладает свойствами стационарности, ординарности и отсутствия последствий.

Выполнение требования стационарности означает, что вероятностные характеристики потока не зависят от времени. Поток отказов называют потоком без последствий, если для любого набора непересекающихся промежутков времени число отказов на этих промежутках представляют собой взаимно независимые случайные величины. Ординарность означает практическую невозможность возникновения двух или более отказов одновременно, т.е. на одном промежутке времени.

У простейшего потока вероятность возникновения n отказов на отрезке времени длиной t определяется распределением Пуассона:

(3.1)

Вероятность отсутствия отказов на интервале времени длиной t равна вероятности события, заключающегося в том, что время T между отказами больше, чем t :

$$P\{T>t\}=e^{-t}; \quad (3.2)$$

где λ - параметр потока отказов;

Параметр потока отказов (λ) -это отношение числа отказов системы на некотором малом отрезке времени к значению этого отрезка.

Статистическая формула:

(3.3)

где N -общее количество элементов; $n_i(t)$ - число отказов i - ого элемента на интервале времени $(0; t)$.

Для потока, удовлетворяющего требованию стационарности, параметр потока отказов является постоянной величиной и не зависит от времени.

Одновременные отказы нескольких элементов могут возникать из-за изменения условий эксплуатации сверх допустимых пределов. Но вследствие того, что надежность системы рассчитывают по установившемся условиям эксплуатации, то потоки отказов можно принимать ординарными. Нестационарность может иметь место из-за наличия периода приработки после пуска системы. Эта же причина может привести к несоблюдению свойства последствия. Последствие может иметь место из-за недостаточного качества восстановления, когда свойства системы не полностью регенерируются после отказа, а также в ситуации, когда отказ одного элемента вызывает ухудшение условий работы других.

В соответствии с двумя способами задания потока отказов для восстанавливаемых систем можно применять различные показатели надежности и безотказности.

При задании потока отказов как дискретного случайного процесса - числа отказов на интервале времени $(0, t)$ показателем безотказности является параметр потока отказов, определяемый соотношением (3.3).

При задании потока отказов как последовательности случайных величин (наработок) между отказами задаются показателями безотказности, ремонтпригодности, долговечности и комплексными показателями надежности. Показателем безотказности является средняя наработка на отказ.

Нарботка на отказ (среднее время между соседними отказами) определяется по статистическим данным об отказах для одного устройства по формуле:

; (3.4)

где n -- число отказов устройства за время наблюдения; t_i -- время исправной работы устройства между $(i-1)$ -м и i -м отказами. При простейшем потоке отказов параметр потока отказов является обратной величиной наработке до отказа.

Термин наработка определяет продолжительность или объем работы устройства. Выбор тех или иных показателей надежности зависит от того, насколько точно требуется определить надежность разрабатываемых технических средств автоматизации.

К показателям ремонтпригодности относятся вероятность восстановления работоспособного состояния за заданное время и среднее время восстановления.

Вероятность восстановления работоспособного состояния определяется как вероятность того, что время восстановления окажется меньше некоторого заданного времени t_1 .

$$Q_B(t_1) = \text{Вер} \{ T_B < t_1 \}; \quad (3.5)$$

среднее время восстановления (ремонта) после отказа (определяется по статистическим данным):

$$; \quad (3.6)$$

Показателем долговечности системы является срок службы системы. Срок службы системы - это случайная величина, характеризующая календарную продолжительность от начала эксплуатации системы до перехода ее в предельное состояние. Для некоторых систем показателем долговечности является установленный срок службы, который должна достигнуть данная система. В качестве случайной величины при рассмотрении долговечности может быть принят не только календарный срок службы системы, но и ее ресурс - наработка от начала эксплуатации до перехода в предельное состояние.

Комплексные показатели надежности отражают совместно безотказность и ремонтпригодность системы. К комплексным показателям относятся: коэффициент готовности, коэффициент оперативной готовности и коэффициент технического использования.

Коэффициент готовности k_T - вероятность того, что система окажется работоспособной в произвольно выбранный момент времени в установившемся процессе эксплуатации. При отсутствии ограничений в обслуживании:

$$k_T = t_{cp}^* / (t_{cp}^* + t_B^*) \quad (3.7)$$

Коэффициент готовности численно равен средней доле времени, в течение которого система пребывает в работоспособном состоянии.

Коэффициент оперативной готовности $k_{ог}$ - вероятность того, что система окажется работоспособной в произвольно выбранный момент времени в установившемся режиме эксплуатации и что, начиная с этого момента, система будет работать безотказно в течение заданного интервала времени t .

$$k_{ог}^* = k_{г} P(t) \quad (3.8)$$

При определении коэффициента готовности и коэффициента оперативной готовности из рассмотрения исключены планируемые периоды времени, в течение которых применение систем по назначению не предусматривается (например, интервалы планового технического обслуживания). Эти периоды времени учитываются коэффициентом технического использования:

$$k_{ти} = t_{ср}^* / (t_{ср}^* + t_{в}^* + t_{проф}^*) \quad (3.9)$$

где $t_{проф}^*$ -- среднее время профилактики, приходящееся на один отказ за рассматриваемый промежуток времени.

4. Принципы описания надежности АСУ ТП. Отказы автоматических систем

Автоматизированную систему управления, как и любую сложную систему, целесообразно рассматривать как совокупность элементов с определенной взаимосвязью между собой. Выбор элементов в зависимости от способа декомпозиции АСУ ТП может быть различен. При декомпозиции по составу в качестве элементов могут быть приняты комплекс технических средств, информационное обеспечение (включающее в себя нормативно-справочную информацию, системы классификации и кодирования информации и др.) и организационное обеспечение (документы, регламентирующие действия персонала). Свойства информационного и организационного обеспечения влияют на надежности АСУ ТП косвенно, через функционирование технических средств, программного обеспечения и действия персонала, поэтому отдельно не учитываются. При функциональной декомпозиции АСУ ТП как многофункциональной системы в качестве элементов системы рассматриваются ее функции, в этом случае говорят об функциональной эффективности АСУ ТП. В общем случае АСУ ТП принято рассматривать как совокупность ТСА (технические средства автоматизации), ПО (программное обеспечение) и ОП (оперативный персонал).

Надежность комплекса технических средств оказывает наиболее существенное влияние на надежность АСУ ТП, поэтому приближенно надежность АСУ ТП зачастую оценивают с учетом только комплекса технических средств.

Критерии отказов технических средств (ТСА) устанавливаются в соответствии с требованиями, указанными в стандартах, технических условиях или другой технической документации на эти ТСА. Поскольку большинство ТСА имеют общепромышленное назначение, то требования задаются безотносительно к тем системам, в которых эти ТСА функционируют. Критерии отказов ТСА при этом не зависят от характеристик управляемого объекта и требований к качеству управления.

Рассмотрим классификацию отказов комплекса технических средств системы.

Отказ - случайное событие, заключающееся в нарушении работоспособности системы. Кроме того, отказ автоматической системы определяется как выход параметра за границы установленного допуска.

Рис. 4.1. К случайному процессу изменения параметра.

В эксплуатационных условиях изменение выходного параметра системы представляет случайную функцию. Если выход параметра k за границу допуска является опасным, то графически переход из исправного состояния прибора в неисправное, можно изобразить как пересечение случайной функцией одной из границ допуска a и или b (рис. 4.1).

При этом выход параметра за границу допуска может происходить либо скачком (график 1), либо в результате постепенного непрерывного изменения параметра прибора (график 2).

Поэтому, если исходить из характера изменения параметра, целесообразно разделить отказы приборов и элементов на внезапные и постепенные. Такое деление удобно при расчете безотказности системы (приборов), поскольку внезапный отказ ее вызывается как отказом элементов принципиальной схемы, так и отказом конструктивных и вспомогательных элементов. Для большинства систем и приборов постепенный отказ определяется лишь изменением параметров принципиальной и кинематической схем.

При появлении внезапных отказов не резервированная система не может выполнять предназначенные функции, в то время как при постепенных отказах небольшие отклонения параметра за границу допусков обычно приводят не к отказу системы, а лишь к изменению ее эффективности (в зависимости от величины отклонения параметра прибора за границу допуска).

При оценке безотказности системы, в случае постепенных отказов, влияние величины отклонения параметра системы за границу допуска можно характеризовать эффективностью параметра системы.

При таком делении отказов элементов на внезапные и постепенные можно считать, что:

отсутствие внезапного отказа свидетельствует о прочности элемента, постепенное изменение параметра свидетельствует о его точности.

Следовательно, отсутствие обоих отказов может быть интерпретировано как условная прочность.

Для фиксированного интервала времени работы системы безотказность представляет вероятность совместного осуществления двух событий, у которых отсутствуют внезапные и постепенные отказы.

Если внезапные и постепенные отказы независимы, то в соответствии с правилом умножения вероятностей безотказность определяется формулой:

$$P = P_{\text{вн}} * P_{\text{пост}} \quad (4.1)$$

где $P_{\text{вн}}$ - безотказность системы при возникновении внезапных отказах;

$P_{\text{пост}}$ - безотказность системы, при возникновении постепенных отказах.

Характер внезапных отказов определяется в свою очередь типом элемента или прибора, его схемой и конструкцией. Для простейших элементов (детали и несложные узлы) внезапные отказы делятся на два вида:

- обрыв,
- короткое замыкание.

Так как все возможные состояния элементов должны составлять полную группу событий, запишем основное уравнение безотказности для этой группы элементов

$$P + q_0 + q_3 = 1 \quad (4.2)$$

где q_0 и q_3 -- вероятности отказа элемента вследствие обрыва и короткого замыкания соответственно.

Приборы, содержащие источники энергии, а также элементы, коммутирующие энергию, характеризуются такими видами внезапных отказов, как обрыв и ложный сигнал на выходе устройства. Т.е., для приборов этой группы вид отказа определяется наличием или отсутствием сигнала на входе прибора.

Кроме внезапных и постепенных отказов, весьма полезно выделить при исследовании надежности автоматических систем

прерывистые отказы, часто называемые сбоями (самовосстанавливающимися отказами). Прерывистые отказы в основном определяются помехами, воздействующими на систему, а для контактных элементов также и окружающими условиями, например вибрациями для контактов электромеханических реле. Характерную особенность прерывистых отказов составляют определенные трудности обнаружения и их устранения. Эффективным средством предупреждения последствий прерывистых отказов может служить применение коды в дискретных системах.

Показатели надежности ТСА с учетом влияния отказа задаются из числа рассмотренных в лекциях 2, 3. Как правило, эти показатели устанавливаются при следующих условиях: температура окружающего воздуха (20±10) °С; относительная влажность 30-80%; давление 630-680 мм. рт. столба; отклонение напряжения питания сети +10-15%. Время на котором задается вероятность безотказной работы, обычно принимается равным 2000 ч. Задание показателей безотказности и долговечности для ТСА, входящих в состав ГСП, является обязательным.

Все рассмотренные выше виды отказов относятся к отказам комплекса технических средств АСУ ТП. Для описания надежности АСУ ТП в целом необходимо учитывать взаимосвязь системы и технологического объекта управления. Надежность АСУ ТП, прежде всего, связана со способностью системы выполнять требуемые функции. Тем самым становится естественным использование декомпозиции АСУ ТП как многофункциональной системы по выполняемым функциям. При таком подходе следует ввести понятие отказа функции. В общем случае отказом функции является событие, заключающееся в нарушении хотя бы одного из основных установленных требований к качеству ее выполнения, возникающее при заданных условиях эксплуатации АСУ ТП и функционирующем при заданных режимах технологическом объекте управления.

Установление критериев отказов функций проводится с учетом классификации функций в зависимости от требования к качеству их выполнения. Функции АСУ ТП условно

подразделяются на простые и составные; непрерывные и дискретные. Рассмотрим требования к выполнению функций АСУ ТП в соответствии с приведенной классификацией.

Требования своевременного и безошибочного выполнения функций, отсутствия задержек при их реализации задаются для дискретных функций;

требования отсутствия вынужденных перерывов в выполнении функции и поддержания значений показателей качества их выполнения в заданных пределах задаются для непрерывных функций;

отказ составной функции формулируется как нарушение требований к выполнению некоторого сочетания простых функций, при этом если последствия отказов каждой из простых функций одинаковы, может быть задано требование по ограничению числа одновременно не выполняемых простых функций.

Отказы функций можно классифицировать по следующим признакам:

по влиянию на работу объекта управления (вызвавшие аварию с повреждением оборудования, останов технологического процесса, ухудшение качества протекания технологического процесса);

по причинам возникновения (из-за отказов технических средств, ошибок программного обеспечения, неправильных действий персонала);

по степени нарушения работоспособности (например, полные и частичные);

по наличию внешних проявлений (например, явные и неявные);

по виду нарушения для дискретных функций (несрабатывание, заключающееся в отсутствии сигналов или команд на управление исполнительными механизмами при наличии условий, требующих их функционирования, и ложное срабатывание, заключающееся в выработке сигналов или команд при отсутствии условий, требующих их функционирования).

Показатели надежности функции АСУ ТП выбираются в соответствии с классификацией функции по временному режиму выполнения с учетом классификации и критериев отказов. Основным показателем безотказности различных непрерывных функции является средняя наработка на отказ. Вместо нее допускается использовать параметр потока отказов, если поток отказов функции является стационарным. При рассмотрении поведения функции до первого отказа показателем безотказности является средняя наработка до отказа.

В тех случаях, когда в работе АСУ ТП можно выделить характерные временные интервалы t_1 (например, периодичность капитальных ремонтов технологического оборудования, периодичность остановов из-за изменений производственной программы), в качестве показателя безотказности может быть принята вероятность безотказного выполнения функции $P(t_1)$.

Основным показателем безотказности и ремонтпригодности дискретных функций по отказам типа «несрабатывание» является вероятность R успешного выполнения заданной процедуры при возникновении запроса.

5. Надежность программного обеспечения АСУ ТП

Одной из основных частей АСУ ТП является программное обеспечение (ПО), представляющее собой совокупность взаимосвязанных и автономных программ, описаний, инструкций программиста и пользователя, тестов и т.п.

Основным ядром ПО являются его программы, которые обеспечивают: нормальное функционирование УВМ и значительной части ТСА, переработку информации о состоянии ТОУ, определение регулирующих и управляющих воздействий, взаимодействие АСУ и управленческого персонала и другие функции. Качество работы всей АСУ ТП существенно зависит от качества ПО, под которым условно понимают совокупность таких разнородных свойств как корректность, быстродействие, стоимость, и, особенно, надежность.

Надежность ПО - есть свойство программного обеспечения своевременно выполнять в заранее указанных условиях эксплуатации вперед установленные функции.

В самом общем случае основную функцию ПО АСУТП можно рассматривать как своевременное получение некоторого результата или решения у при переработке входной информации x из множества X .

Под x понимается контрольная информация от ТОУ, сигналы о состоянии технологического оборудования и ТСА, команды управленческого персонала и вышестоящих АСУ и т.п. Результат y зависит как от случайного $x \in X$, так и от свойств ПО, носящих во многом стохастический характер. Поэтому установление каких-либо диапазонов изменения y и тем более границ допустимых или разумных результатов Y оказывается в этом случае невозможным. Вследствие этого становится затруднительной строгая качественная оценка принадлежности данного y множеству «разумных» результатов Y .

Решение о выполнении или невыполнении функций ПО вынужден принимать пользователь и, в меньшей степени разработчик программы или программист. Таким образом, надежность - это свойство программ обеспечивать «разумные» по мнению пользователя и программиста решения при переработке входной информации x из условного множества X и нормальном функционировании УВМ.

Надежность устанавливается по результатам работы ПО, т.е. при динамической проверке всех программ на множестве входной информации. Некорректное ПО заведомо ненадежно, однако и корректное ПО может быть ненадежным.

Рассмотренное определение надежности ПО базируется на понятии отказ программы, под которым понимается событие, заключающееся в появлении «неразумного» результата $y \in Y$ при $x \in X$ и нормальной работе УВМ и ТСА.

Отказы ПО делятся на случайные и неслучайные.

Неслучайные отказы ПО обусловлены действием так называемых компьютерных вирусов.

Случайные отказы ПО наблюдаются в случайные моменты времени работы УВМ или процессора. По своим

последствиям эти отказы классифицируются на случайные сбои программ и устойчивые отказы ПО.

Под сбоем ПО понимают случайное событие, заключающееся в появлении «неразумного» результата у Y и исчезающее при последующих прогонах (запусках) программ.

Сбой ПО - это самоустраняющийся (перемежающийся) отказ программы, возникающий при некоторых, возможно случайных, состояниях УВМ и информации x X , наблюдаемый пользователем в случайные моменты времени и исчезающий без вмешательства программиста.

Устойчивый отказ ПО наблюдается в случайный момент процессорного времени в форме «неразумного» результата у Y при x X в нормальном функционировании УВМ.

Список литературы

1. Воробьев, В. А. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования сельскохозяйственных организаций [Электронный ресурс]: учебное пособие для СПО / В. А. Воробьев. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва: Юрайт, 2018. — 261 с. — Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru/book/0E23B3B7-1A1E-4E4F-9E8C-79D2B2802167>
2. Воробьев, В. А. Эксплуатация и ремонт электрооборудования и средств автоматизации [Электронный ресурс]: учебник и практикум для СПО / В. А. Воробьев. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва: Юрайт, 2018. — 338 с. — Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru/book/D6340A41-ED76-4F03-AFD7-775F329B8978>
3. Воробьев, В. А. Электрификация и автоматизация сельскохозяйственного производства [Электронный ресурс]: учебник для СПО / В. А. Воробьев. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва: Юрайт, 2018. — 283 с. — Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru/book/D7E62F51-BAAE-4B5D-80D0-37E04EBDC154>
4. Бородин, И. Ф. Автоматизация технологических процессов и системы автоматического управления [Электронный ресурс]: учебник для СПО / И. Ф. Бородин, С. А. Андреев. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва: Юрайт, 2018. — 356 с. — Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru/book/7E4B1D44-CA39-4561-B0F4-E239322DFD47>
5. Алиев, И. И. Электротехника и электрооборудование [Электронный ресурс]: учебное пособие для СПО: в 3 ч. Ч. 3 / И. И. Алиев. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва: Юрайт, 2018. — 375 с. — Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru/book/16998626-27FE-4E39-BF11-D52105E265FA>
6. Шичков, Л. П. Электрический привод [Электронный ресурс]: учебник и практикум для СПО / Л. П. Шичков. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва: Юрайт, 2018. — 330 с. — Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru/book/E948A0EB-0880-4CE5-B1CA-3057D23B67AA>
7. Шелякин, В. П. Электрический привод: краткий курс [Электронный ресурс]: учебник для СПО / В. П. Шелякин, Ю.

М. Фролов; под ред. Ю. М. Фролова. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва: Юрайт, 2018. — 253 с. — Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru/book/3A89EA3A-B90F-409B-8E14-9ACB000A32B6>

8. Основы автоматизации технологических процессов [Электронный ресурс]: учебное пособие для СПО / А. В. Шагин, В. И. Демкин, В. Ю. Кононов, А. Б. Кабанова. — Москва: Юрайт, 2018. — 163 с. — Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru/book/322EADDA-5605-4643-B6B9-599C54F3CEE>

9. Баев, В. И. Светотехника: практикум по электрическому освещению и облучению [Электронный ресурс]: учебное пособие для СПО / В. И. Баев. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва: Юрайт, 2018. — 195 с. — Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru/book/873C7D61-1BBC-43AE-875F-70335B683A4C>

10. Электротехника и электроника [Электронный ресурс]: учебник и практикум для СПО: в 3 т. Т. 2 Электромагнитные устройства и электрические машины / В. И. Киселев, Э. В. Кузнецов, А. И. Копылов, В. П. Лунин; под общ. ред. В. П. Лунина. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Юрайт, 2017. — 184 с. — Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru/book/0120F03A-B783-48B6-87D1-45011844261F>

1. Воробьев, В. А. Электрификация и автоматизация сельскохозяйственного производства [Электронный ресурс] : учебник для СПО / В. А. Воробьев. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Юрайт, 2018. — 283 с. — Режим доступа : <https://www.biblio-online.ru/book/D7E62F51-BAAE-4B5D-80D0-37E04EBDC154>

2. Воробьев, В. А. Эксплуатация и ремонт электрооборудования и средств автоматизации [Электронный ресурс] : учебник и практикум для СПО / В. А. Воробьев. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Юрайт, 2018. — 338 с. — Режим доступа : <https://www.biblio-online.ru/book/D6340A41-ED76-4F03-AFD7-775F329B8978>

3. Силаев, Г. В. Основы технической эксплуатации и обслуживания электрического и электромеханического оборудования [Электронный ресурс] : учебное пособие для СПО

/ Г. В. Силаев. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Юрайт, 2016. — 282 с. — Режим доступа : <https://www.biblio-online.ru/book/1AA4F2C8-7E8A-481C-8D23-0456AC59BD4F>

4. Бородин, И. Ф. Автоматизация технологических процессов и системы автоматического управления [Электронный ресурс] : учебник для СПО / И. Ф. Бородин, С. А. Андреев. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Юрайт, 2018. — 356 с. — Режим доступа : <https://www.biblio-online.ru/book/7E4B1D44-CA39-4561-B0F4-E239322DFD47>