

Федеральное агентство по образованию

**Государственное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
Северо-Западный государственный заочный технический университет**

М. П. Белов

**Технические средства автоматизации
и управления**

Учебное пособие

Санкт-Петербург

2006

Утверждено редакционно-издательским советом университета

УДК 681.3

Белов М. П. Технические средства автоматизации и управления: Учеб. пособие. - СПб.: СЗТУ, 2006. - 184 с.

Пособие соответствует требованиям государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования по специальности 220201 - Управление и информатика в технических системах и направлению подготовки бакалавра 220200.

Рассмотрены технические средства систем автоматизации и управления техническими объектами и технологическими процессами такие, как управляемые преобразователи напряжения, автоматизированные электроприводы постоянного и переменного токов, контрольно-измерительные средства, исполнительные устройства, технические средства приема, преобразования и передачи измерительной и командной информации по каналам связи, технические средства обработки, хранения информации и выработки управляющих воздействий, промышленные информационные сети, программное обеспечение, технические средства для отображения технологических процессов.

Пособие предназначено для студентов института информационных технологий и систем управления, но может быть полезно и для студентов других специальностей.

Рецензенты: Научно-производственная Фирма "Ракурс", директор учебно-консультационного центра Н. И. Татаринцев, М. Ю. Шестопалов канд. техн. наук, доц. кафедры АПУ факультета компьютерных технологий и информатики Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета.

© Белов М. П., 2006

© Северо-Западный государственный заочный технический университет, 2006

Предисловие

Повышение технико-экономических показателей автоматизированных систем управления технологическими процессами, таких, как качество процессов управления, надежность, безопасность эксплуатации и ремонтпригодность, снижение затрат на проектирование, монтаж и пуск, улучшение условий работы оператора, зависит от используемых технических средств. Сочетание технологий и производств с автоматизацией управления на основе современных технических средств, программируемых контроллеров является одним из главных направлений реконструкции промышленных предприятий.

Комплекс технических средств (КТС) представляет собой сложную взаимосвязанную систему аппаратных и аппаратно-программных средств. Под термином "сложная система" понимается множество взаимосвязанных и взаимодействующих подсистем, выполняющих самостоятельные и общесистемные функции и имеющих собственные и общие цели. Поэтому представляется необходимым решение проблемы проектирования комплекса технических средств для автоматизированных систем управления технологическими процессами с единой методологической позиции – позиции системного подхода, что в данном случае означает: использование концепций теории систем управления; исследование технологических объектов управления и учет особенностей их эксплуатации с целью выбора ограничений при формировании типового состава функциональных задач КТС и состава индивидуальных задач данного объекта автоматизации; организацию внутренней структуры КТС на основе принципов типизации, унификации и агрегатирования; оптимизацию системотехнических, схемных, конструктивных и программных решений для упорядочения номенклатуры КТС.

В соответствии с такой концепцией излагаются в книге сведения о технических средствах автоматизированных систем управления технологическими процессами.

Материал учебного пособия соответствует программе дисциплины "Технические средства автоматизации и управления» типового учебного плана. Учебное пособие написано на основе лекций, читаемых автором в течение нескольких лет в Северо-Западном государственном заочном техническом университете. При подготовке рукописи использованы обширная отечественная и зарубежная литература, каталоги и справочные пособия, обзоры по зарубежным техническим средствам.

Сложность изучения этой дисциплины состоит в том, что она охватывает очень широкий круг вопросов и для поиска ответов на них приходится просматривать слишком много учебной и специальной литературы. В разных источниках уровень изложения различен. В данном пособии весь материал адаптирован к уровню подготовки студентов. Благодаря этому каждый студент имеет возможность полностью разобраться в прочитанном материале, не прибегая к другим пособиям и посторонней помощи.

Для определения степени усвоения материала, в конце каждой главы приводится список вопросов для самопроверки.

В заключение автор выражает признательность рецензентам и редактору за участие в подготовке данного учебного пособия, которое, вероятно, будет полезно не только студентам специальности 220201, но и обучающимся по другим специальностям.

Глава 1. Типовые структуры и средства систем автоматизации и управления техническими объектами и технологическими процессами

1.1. Общие положения

Развитие современного производства идет по пути создания высокоэффективных промышленных установок, обеспечивающих интенсификацию технологических процессов (ТП), и систем управления ими.

Автоматизированной системой управления (АСУ) называется человеко-машинная система, обеспечивающая автоматизированный сбор и переработку информации, необходимой для оптимизации управления в различных сферах человеческой деятельности. АСУ ТП (ГОСТ 20.003–84) – это АСУ для выработки и реализации управляющих воздействий на технологический объект управления (ТОУ) в соответствии с принятым критерием качества управления.

Технологический объект управления – это совокупность технологического оборудования и реализованного на нем по соответствующим инструкциям или регламентам технологического процесса производства. В зависимости от уровня АСУ ТП в качестве ТОУ можно рассматривать: технологические агрегаты и установки, группы станков, отдельные производства (цехи, участки), реализующие самостоятельный ТП; производственный процесс всего промышленного предприятия, если управление им заключается в рациональном выборе и согласовании режимов работы агрегатов, участков и производств.

Совместно функционирующие ТОУ и управляющая им АСУ ТП образуют автоматизированный технологический комплекс (АТК).

Технические средства (ТС) для автоматизации управления ТП выполняют следующие функции: сбор и преобразование информации (без изменения ее содержания) о состоянии процесса; передача информации по каналам связи (перемещение в пространстве); преобразование, хранение и обработка информации, формирование команд управления (перемещение информации во времени с изменением ее содержания); использование и представление командной информации для воздействия на процесс и связи с оператором АСУ ТП.

Все промышленные средства автоматизации ТП в соответствии с ГОСТ 12997–84 объединяют в функциональные группы, образуемые по *характеру преобразования информации* в системах управления. В свою очередь, средства функциональных групп дополнительно классифицируются по *признаку отношения к системе* и образуют: средства на входе системы (датчики); средства на выходе (выходные преобразователи, средства вывода информации и команд

управления процессом); внутрисистемные технические средства (средства промежуточного преобразования информации, обеспечивающие взаимосвязь между устройствами с различными сигналами, различными «машинными языками», средства передачи, фиксации и обработки информации).

Кроме этих основных групп средств используются *вспомогательные средства*, такие, как документационная техника, оборудование для рабочих мест операторов-технологов и диспетчеров и др.

Многообразие групп, типов и модификаций технических средств приводит к многоальтернативной проблеме проектирования технического обеспечения АСУ ТП в каждом конкретном случае. При определенной структуре и алгоритмах функционирования АСУ ТП можно предположить возможность оптимального в каком-либо смысле выбора комплекса технических средств (КТС) для этой системы. Так, одним из наиболее важных критериев выбора КТС может служить их стоимость, занимающая в общей стоимости системы управления значительную часть.

1.2. Классификация и структура современных технологических объектов управления

Множество разнообразных ТООУ, отличающихся физической природой, видом перерабатываемого сырья и энергии, технологическим оборудованием, затрудняет рассмотрение всех видов технологии. Однако в системе промышленного производства можно выделить два существенно отличных класса ТП: добычу исходного сырья и переработку сырья или полуфабриката в готовый продукт. В последнем случае готовым продуктом может быть и полуфабрикат, служащий исходным материалом для дальнейшей переработки. В свою очередь каждый из этих классов ТП имеет специфические стороны. Так, первый может быть разделен на добычу твердых, жидких или газообразных продуктов. Во втором – переработка сырья или полуфабриката – выделяются отрасли с технологией изменения агрегатного состояния или химического состава вещества и процессы, технология которых направлена на изменение формы исходной заготовки или исходного материала.

Транспортировка сырья, полуфабрикатов и готовой продукции может рассматриваться в качестве самостоятельного класса. Здесь можно выделить технологические и межпроизводственные или межотраслевые транспортные средства.

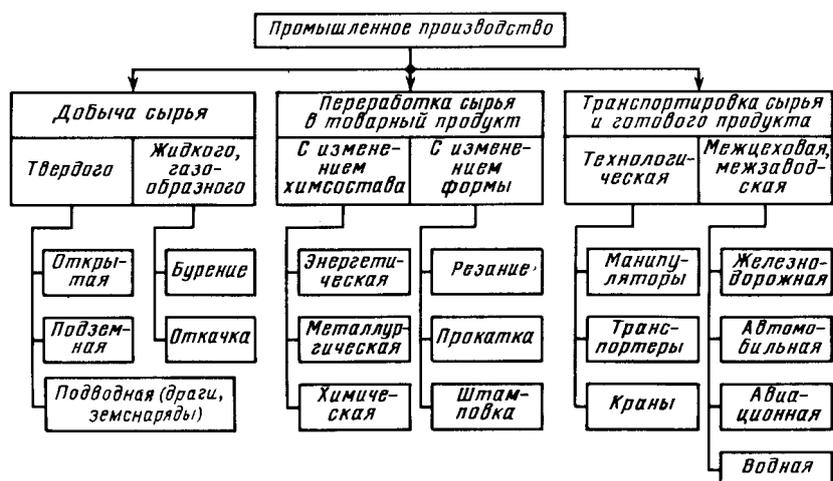


Рис. 1.1. Классификация промышленного производства

На рис. 1.1 [1] показана классификация сырья промышленного производства по указанному выше признаку. Каждый класс имеет два четко выраженных подкласса. В подклассе добычи твердого сырья выделены три самостоятельные отраслевые технологии: подземных и открытых разработок и водотранспортная (драги, земснаряды и др.); подкласс добычи жидкого или газообразного сырья представлен технологиями бурения и откачки.

Подкласс получения продукции, связанной с процессами изменения агрегатного или физико-химического состояния материала, присущ таким отраслям, как энергетика, химическая промышленность, металлургия (доменное, сталеплавильное производство, электрохимическая металлургия и др.). В этих процессах используются различные виды энергии (тепловая, электрическая, химическая, атомная). Энергоноситель поступает к технологическому агрегату в виде пара, газа, компонентов исходных материалов (например, кокс в доменном и агломерационном производстве). Управляемыми параметрами здесь являются поток материала и его состав, а также поток энергоносителя и его состав.

В данном случае ТОО являются транспортные, дозирующие и массоизмерительные устройства, подготавливающие технологический процесс изменения агрегатного и физико-химического состояний исходных продуктов и собственно процессы этих преобразований. Непрерывность протекания физико-химических процессов определяет их взаимную связь с транспортировкой и дозированием, что позволяет рассматривать весь АТК как единый ТОО.

Подкласс производства продукции, связанный с изменением формы исходного сырья или полуфабриката, включает любые процессы поточного или

индивидуального производства. К ним могут относиться прокатка, штамповка, волочение, формовка, обработка резанием и т.д. Здесь используется только один вид энергии – механическая, источником которой в подавляющем большинстве случаев служит автоматизированный электропривод. Управляемым параметром является поток энергии.

Объединение ряда производственных механизмов в общий АТК осуществляется с помощью транспортных средств и механизмов изменения ориентации изделия. Наиболее характерной машиной в таком производстве становится управляемый манипулятор – промышленный робот.

Подкласс изменения формы значительно шире, чем показано на рис. 1.1. Выбирая наиболее широкую область технологии – металлообработку – как пример массовых, наиболее характерных и распространенных технологических процессов, приходится отказываться от рассмотрения других специфических производственных процессов.

Технологическая транспортировка объединяет устройства перемещения сырья, полуфабрикатов и готовой продукции в соответствии с расположением технологического оборудования и требованиями ТП.

При организации современного ТП выделяются три подсистемы преобразования: вещества, энергии, информации. Среди перечисленных подсистем невозможно выделить главную и второстепенные. Они в своем функционировании равноправны, так как образуют АТК, представляющий собой совокупность совместно функционирующих АСУ ТП и ТОУ.

Разработка новых ТП, создание новых производительных механизмов, появление новых управляемых источников энергии приводит к тому, что роль человека практически сводится к переработке информации и выдаче управляющих воздействий. Этот процесс складывается из следующих этапов: а) накопления и хранения априорной информации (процесс обучения и знакомства с конкретным технологическим объектом); б) приема исходной информации, содержащей конкретное оперативное задание по управлению объектом, получаемое непосредственно перед работой; в) сбора текущей информации о соответствии хода технологического процесса установленному заданию и перегрузках оборудования; г) преобразования трех видов информации (априорной, исходной и текущей) в целях принятия решения на управление объектом; д) воздействия на органы управления объектом эффекторами (рукой, ногой, голосом и т.п.) для реализации принятых решений.

1.3. Назначение и характеристика современных АСУ ТП

Основное назначение АСУ ТП состоит в автоматической оптимизации ТП. В таких системах обеспечивается реализация совершенных законов управления и как следствие – наиболее эффективное ведение технологического процесса и высокое качество продукции, т.е. выпускается максимально возможное количество готовой продукции при обеспечении необходимого ее качества и допустимой загрузки технологического оборудования. При этом в идеальном случае затраты должны быть минимальными. Это означает, что АТК и саму технологию необходимо спроектировать таким образом, чтобы оборудование имело наименьшие габаритные размеры и массу. Конструкция оборудования должна гарантировать минимум потерь в узлах трения, а технология – максимальное использование исходного продукта и энергии. Наконец, ведение ТП должно обеспечить выпуск готовой продукции с наименьшим полем допусков и минимум брака.

Единственный критерий, способный объединить перечисленные показатели, – экономический. Если стоимостные эквиваленты не установлены, повышение эффективности достигается путем оптимизации одного или двух наиболее существенных параметров. При двух параметрах приходится отыскивать компромиссное решение. Еще более сложны поиски компромисса между минимумами расхода трех основных компонентов: материала, энергии и информации.

В целевой классификации АСУ ТП по типовым задачам управления, определяющей их назначение, можно выделить следующие группы:

– АСУ ТП, обеспечивающие стабилизацию (поддержание) заданного рационального или оптимального технологического режима, т.е. таких технологических параметров, на которые действующие возмущения оказывают существенное влияние. Например, к ним можно отнести системы стабилизации скорости резания при торцовой обработке деталей больших диаметров на металлорежущих станках, системы стабилизации скорости шлифования при уменьшении диаметра шлифовального круга и др.;

– АСУ ТП, отрабатывающие с установленной точностью заданное или непрерывно задаваемое рациональное (оптимальное) изменение ТП. Такие системы программного или следящего управления применяются в роботах-манипуляторах, станках с числовым программным управлением (ЧПУ), лифтовых подъемниках и пр.;

– АСУ ТП, самостоятельно (автоматически) выбирающие наилучший по какому-либо признаку технологический режим и обеспечивающие его поддержание либо автоматически выбирающие наилучшую траекторию перемещения рабочего органа и обеспечивающие ее отработку с установленной точностью. К таким системам оптимального управления относятся АСУ ТП агрегатов оптимального раскрытия материала, системы дистанционной перестройки, рассчитывающие и реализующие оптимальную программу обжаты металла в отдельных клетях стана непрерывной прокатки, и т.д.

Характерной особенностью современных АСУ ТП является высокая производительность переработки информации при практически неограниченном объеме памяти. Эта особенность базируется на применяемых в системах быстродействующих средствах вычислительной техники: промышленных компьютерах (ПК), технологических контроллерах (ТК), микропроцессорах, управляющих вычислительных машинах (УВМ). Высокая информационная производительность УВМ обеспечивает реализацию указанного назначения АСУ ТП.

Применение ПК или ТК обеспечивает вторую характерную особенность АСУ ТП – их высокую гибкость, что позволяет существенно повысить гибкость ТОУ при переходе на новую технологию. Даже для весьма сложных АТК время перенастройки не выходит за пределы нескольких десятков секунд.

АСУ ТП как компонент общей СУ промышленным предприятием (АСУ П) предназначена для целенаправленного ведения ТП и обеспечения смежных и вышестоящих СУ оперативной и достоверной технико-экономической информацией. АСУ ТП, созданные для объектов основного и вспомогательного производства, представляют низовой уровень АСУ П.

При наличии на предприятии автоматизированных систем технической и технологической подготовки производства (АСТПП) должно быть обеспечено взаимодействие АСУ ТП с этими системами. АСУ ТП получают от них необходимую технологическую и другую информацию для обеспечения заданного процесса и направляют к АСТПП фактическую оперативную информацию, необходимую для их функционирования, в том числе для корректировки ТП.

Перечень, форма представления и режим обмена информацией между АСУ ТП и другими взаимосвязанными с ней СУ определяется в каждом конкретном случае в зависимости от специфики производства, его организации и структуры управления им.

Реализация целей в конкретных АСУ ТП достигается выполнением в них

определенной последовательности операций и вычислительных процедур, в значительной степени типовых по своему составу и потому объединяемых в комплекс типовых функций АСУ ТП.

Функции АСУ ТП подразделяются на управляющие, информационные и вспомогательные.

Управляющие функции АСУ ТП – это функции, результатами которых является выработка и реализация управляющих воздействий на ТОУ. К управляющим функциям АСУ ТП относятся: регулирование (стабилизация) отдельных технологических переменных; логическое управление операциями или аппаратами; программное логическое управление группой оборудования; оптимальное управление установившимися или переходными режимами или отдельными стадиями процесса; адаптивное управление объектом в целом, например управление участком станков с ЧПУ.

Информационные функции АСУ ТП – это функции системы, содержанием которых является сбор, обработка и представление информации о состоянии АТК оперативному персоналу или передача этой информации для последующей обработки. К информационным функциям АСУ ТП относятся: централизованный контроль и измерение технологических параметров; косвенное измерение; вычисление параметров процесса (технико-экономических, внутренних переменных); формирование и выдача данных оперативному персоналу АСУ ТП или АТК; подготовка и передача информации в смежные системы управления; обобщенная оценка и проверка состояния АТК и его оборудования.

Отличительная особенность управляющих и информационных функций АСУ ТП – их направленность на конкретного потребителя (ТОУ, оперативный персонал, смежные СУ).

Вспомогательные функции АСУ ТП состоят в обеспечении контроля за состоянием функционирования технических и программных средств системы.

Управляющая функция АСУ ТП имеет своей целью выработку решений и осуществление управляющих воздействий на ТОУ. Как видно, в исполнении задач информационной и управляющей функций принимает участие процессор, совмещающий переработку, хранение и выработку управляющей информации, передаваемой в виде управляющего воздействия ТОУ по каналам устройства связи.

Уровень совершенства АСУ зависит от совершенства элементов ее струк-

туры и характеризуется степенью "самостоятельности" в выработке и реализации управляющих воздействий при ведении ТП. Сложность элементов внутренней структуры АСУ находится в тесной связи с характером ТП. Если этот процесс допустимо рассматривать детерминированным, то его модель будет проще.

В тех случаях, когда ход ТП не удастся свести к детерминированному, т.е. возможны некоторые отклонения случайного характера (изменение качества материала, его физических свойств, характеристик рабочего органа и т.п.); внутренняя структура АСУ существенно усложняется. В таких системах априорная информация содержит формулировку цели управления и математическую модель процесса, которая позволяет определить наилучший путь достижения этой цели. Чем большее число случайных факторов подлежит учету, тем сложнее математическая модель процесса и элементы внутренней структуры АСУ. Все это приводит к удорожанию системы, усложнению эксплуатации и существенному снижению надежности. Поэтому рациональный путь создания работоспособных АСУ ТП повышенной надежности состоит в совершенствовании не только отдельных элементов системы, но и ТП, совершенствование которого должно быть направлено на повышение детерминированности последнего, в результате чего исключается или сводится до минимума влияние случайных факторов. Только одновременное совершенствование СУ и ТП может привести к созданию надежно функционирующих АТК.

Во внешней структуре АСУ ТП могут быть выделены системы различных уровней или подсистемы АСУ ТП, выделяемые по функциональному или структурному признаку, отвечающему конкретным целям и задачам. Если функции системы ограничены одним механизмом, то она называется локальной. Примером тому может служить система безотходного пореза металла, управляющая подвижным упором ножниц обжимного прокатного стана. Эта локальная АСУ ТП обеспечивает при раскросе минимум отхода металла с учетом срочности выполнения заказов.

Если механизмы, управляемые локальными системами, тесно связаны между собой ТП, то для их взаимной координации создается узловая АСУ ТП. Объединение локальных АСУ ТП в узловые может быть осуществлено по территориальному или функциональному признаку. В этом случае устанавливается общая ситуационная связь расположенных на одном агрегате рабочих органов или механизмов. Узловыми АСУ ТП являются, например, СУ печами, клетями и механизмами склада продукции обжимного прокатного стана.

Локальные АСУ ТП, объединенные в узловые системы по функциональному признаку, совместно участвуют в управлении общим для всего узла технологическим параметром. Наиболее характерным примером такой узловой АСУ ТП являются системы регулирования скорости, толщины, натяжения полосы в листовых прокатных станах. Каждый из параметров формируется всеми клетями стана. К узловым АСУ ТП можно отнести различные типы копируемых агрегатов (станки, раскroечные автоматы).

В этих системах комплекс технологических объектов подчинен общим технологическим закономерностям, в связи с чем здесь не могут применяться локальные АСУ ТП различной производительности. Построение такого узла исходит из единой для всех объектов заданной производительности.

Следующий уровень СУ – комплексные АСУ ТП – обусловлен необходимостью взаимной связи узловых АСУ ТП в целях управления технологическими линиями и комплексами. Это, например, автоматизированные станочные линии, роботизированные комплексы станков, комплекс агрегатов и механизмов обжимного прокатного стана, тонколистового стана горячей прокатки, роторный землеройный комплекс.

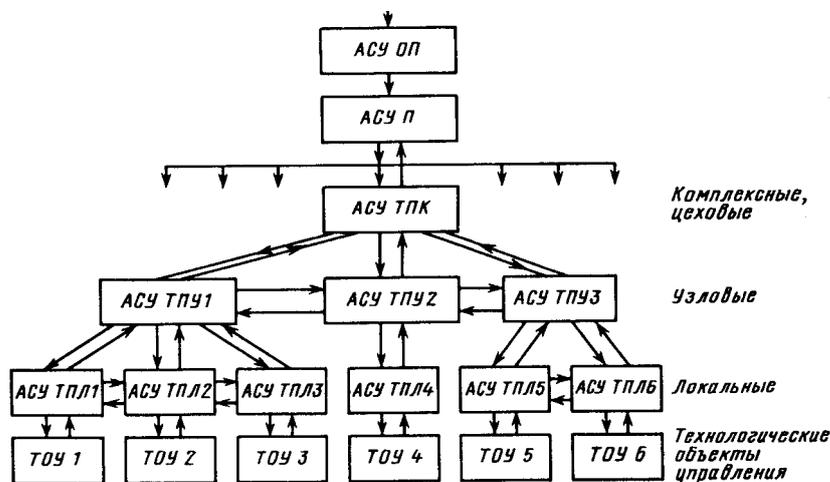


Рис. 1.2. Иерархическая структура АСУ ТП

Организованные в единую систему комплексные АСУ ТП, дополненные информационными узлами и автоматизированными системами переработки информации отделов и служб предприятия, образуют АСУ П. Несколько объединенных АСУ П образуют систему управления отраслью промышленности – АСУ ОП. Такой принцип построения внешней структуры (рис. 1.2) получил название подчиненного, или иерархического. Иерархия АСУ ТП определяет по-

рядок подчинения взаимосвязанных подсистем общей системы, которая в пределах отрасли промышленности основывается на выработке определенной стратегии, реализуемой по оптимальным законам с учетом возможностей конкретных промышленных предприятий, цехов, технологических комплексов, механизмов. Сущность иерархического принципа состоит в том, что каждый из уровней вырабатывает задание-уставку, обязательную для подчиненного ему уровня.

В последние годы при разработке АСУ ТП технологических линий и комплексов ранги иерархии сокращаются в связи с применением прямого цифрового управления, которое осуществляется централизованно с помощью общего ПК. Происходит замена структурной иерархии алгоритмической. Здесь иерархическую структуру приобретает алгоритм работы ПК.

С повышением ранга уровня усложняются решаемые задачи. Это требует более совершенной техники, однако характер задач (стабилизация, программное, оптимальное управление) и функции отдельных составляющих СУ остаются неизменными.

Таким образом, АСУ ТП представляет собой КТС технического, информационного, математического и программного обеспечения для управления технологическими объектами, который обеспечивает оптимальный при данной структуре и технических средствах уровень автоматизации сбора и переработки информации для формирования управляющих сигналов и передачи их без потерь и искажения на исполнительные механизмы в целях достижения наиболее эффективной работы ТООУ в целом.

1.4. Типовая структура автоматизированных технологических комплексов

Любой современный технологический комплекс следует рассматривать как АТК. В соответствии с ТП работа АТК определяется задающей программой. Осуществляются: контроль и регулирование электромагнитных, механических, технологических переменных, показателей качества готовой продукции (переработанного вещества); автоматическая оптимизация обобщенных показателей качества работы АТК; контроль состояния электротехнического, механического и технологического оборудования.

В общем виде задача АТК заключается в преобразовании исходного вещества в готовую продукцию (переработанное вещество) (рис. 1.3) [2] на основе получения от технологической среды информации I в виде задающей про-

граммы и энергии P .



Рис. 1.3. Функциональная схема получения готового продукта

Издержки функционирования АТК в виде таких вредных влияний на среду, как искажение параметров сети энергоснабжения, искажение информации, электромагнитные поля должны быть сведены к допустимому по стандартам минимуму, а технологические отходы переработаны в полезную продукцию. Готовая продукция должна соответствовать требованиям стандарта к качеству, производиться за минимально короткое время, при минимальном потреблении энергии. Высвобождаемая энергия машин должна возвращаться в среду, куда должны поступать информация о работе АТК и данные о качестве готовой продукции.

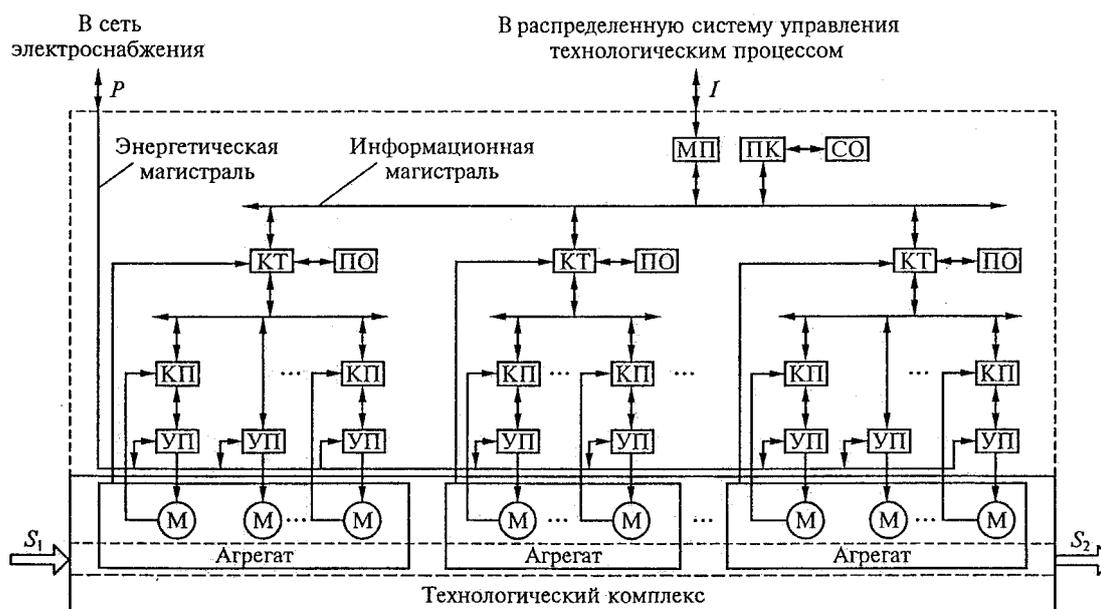


Рис. 1.4. Функциональная схема современного АТК

Функциональная схема современного АТК приведена на рис. 1.4 [2]. Механизмы (исполнительные органы рабочей машины) оснащаются индивидуальными электроприводами с электродвигателями М, управляемыми преобразователями УП, программируемыми микроконтроллерами приводов КП. Совместную работу приводов и механизмов, входящих в состав технологического агрегата, координирует технологический программируемый микроконтроллер КТ. Координацию совместной работы агрегатов технологического комплекса выполняет один из микроконтроллеров КТ или специализированный ПК, входящий в состав станции оператора СО. Через магистральный преобразователь МП осуществляется связь АТК с распределенной АСУ ТП. Микроконтроллеры (далее контроллеры) взаимодействуют через коммуникационную связь, структура которой в соответствии с существующими стандартами по промышленным сетям средств вычислительной техники может быть различной. Контроль агрегатов и управление ими могут осуществляться с периферийных постов операторов ПО.

Контроллером привода решаются следующие задачи: управление силовой частью УП; регулирование момента электродвигателя, скорости и положения механизма; программно-логическое управление пуском, остановом и режимом рабочего функционирования привода; автоматическая настройка регуляторов в режиме наладки; контроль состояния и диагностики неисправностей в компонентах электропривода; защита и сигнализация электропривода.

Соответственно, технологическим контроллером решаются задачи: выработка заданий на КП в соответствии с координированной работой приводов агрегата; программно-логическое управление пуском, остановом и режимом рабочего функционирования агрегата; регулирование технологических переменных; контроль состояния и диагностика неисправностей в компонентах агрегата.

Компьютерные СУ электроприводами, механизмами, технологическими агрегатами и комплексами выполняются по единой идеологии с гибким варьированием аппаратных и программных средств. В общем случае в состав систем входят: программируемые контроллеры, модули интеллектуальной периферии, системы визуализации и обслуживания, средства коммутаций, программаторы (ПГ), ПК.

Контроллеры могут иметь разные конструкции, но всегда предусматривается возможность варьирования их конфигурации за счет устройств расшире-

ния и периферийных модулей. Основой контроллера является центральный блок, содержащий центральный процессор и блок питания. В зависимости от задач автоматизации на системную шину контроллера могут монтироваться различные периферийные модули: цифровых и аналоговых вводов/выводов, предварительной обработки сигналов, коммуникационных процессоров. Предусматривается возможность варьирования разных типов центральных процессоров, блоков питания, периферийных модулей. Для объектов, требующих повышенной надежности работы, используются контроллеры, состоящие из двух-трех центральных блоков с процессорами резервного действия. Программа пользователя составляется для таких контроллеров, как и в обычном варианте. Модули интеллектуальной периферии решают специальные задачи пользователя по измерению, оценке, регулированию, стабилизации, позиционированию и др. Они интеллектуальны, так как обладают собственными процессорами и решают самостоятельно в реальном времени специализированные задачи управления. Их периферийность определяется тем, что с управляемым процессом они непосредственно связаны через собственные входы/выходы. За счет этого центральный процессор не перегружается и за необходимое время выполняет собственные задачи.

Системы визуализации и обслуживания включают в себя средства от простых дисплеев до информационных систем. Получают распространение следующие системы:

1. Панели оператора, предназначенные для отображения управляемого процесса, ввода и вывода данных и для наладки. Содержат дисплеи и клавиатуры, конструктивно размещенные в одном корпусе.

2. Программируемые терминалы, представляющие собой электролюминесцентные графические терминалы с активным экраном, на котором можно гибко менять клавиатуру.

3. Локальные системы визуализации и обслуживания с различного рода функциональными возможностями (от кратковременного или долговременного архивирования измеряемых величин до полнографических систем с объектно-ориентированными оболочками проектирования и обслуживания) и интегрированные в другие системы. Они представляют собой автоматизированное рабочее место (АРМ) на базе ПК.

4. Центральные системы визуализации и обслуживания с высокими функциональными возможностями, расширяемыми от АРМ до скоординиро-

ванных многопользовательских и многотерминальных систем.

Программаторы и ПК используются в системах визуализации и обслуживания, а также для подготовки, отладки и записи программ в контроллеры. В соответствии с задачами программно-логического и непрерывного управления, диагностики, контроля состояния функциональных узлов оборудования, отображения информации об управляемом процессе имеется стандартное программное обеспечение в виде функциональных блоков, обеспечивающих решение частных задач и органично встраиваемых в программы пользователя.

Кроме этого имеются программы-драйверы, решающие задачу сопряжения контроллеров со стандартной периферией, с другими контроллерами и компьютерными средствами автоматизации в коммуникационной сети.

В функциональные блоки входят программные пакеты, реализующие типовые функции, например:

1) арифметические, тригонометрические, логарифмические, показательные, обработки логических цепей, преобразования массивов данных и др.;

2) регулирования электромагнитных, механических и технологических переменных; реализации стабилизирующего, следящего, каскадного, модального и адаптивного управления; коррекции и компенсации нелинейностей, сглаживания; реализации непрерывных, шаговых и импульсных регуляторов;

3) наблюдения, отображения и обслуживания для локальных и центральных систем; выдачи важных соотношений и сообщении об ошибках; группирования сообщений и отображения обобщенных сообщений; включения прерывистой и непрерывной световой и звуковой сигнализации;

4) предварительной обработки сигналов в виде подготовки данных, обработки сообщений и прерываний, счета, дозирования, измерения скорости, пути, температуры и др.;

5) служебные – для обмена данными между центральным процессором контроллера и модулями коммутационного процессора; предварительной обработки сигналов и памяти;

6) имитации объекта управления и обработки алгоритмов управления.

Вопросы для самопроверки

1. Какие основные классы технологических процессов в системе промышленного производства существуют?
2. Назовите подклассы промышленного производства.

3. В чем основная задача АТК?
4. Какие технические средства входят в состав АТК?
5. Какие задачи решает технологический контроллер или промышленный компьютер в системах автоматизации и управления?
6. В чем заключается принцип унификации технических средств систем автоматизации и управления?
7. В чем заключается принцип децентрализации при построении АТК?
8. В чем заключается магистрально-модульный принцип построения АТК?
9. Что входит в программное обеспечение систем автоматизации и управления техническими объектами и технологическими процессами?
10. Что входит в техническое обеспечение систем автоматизации и управления техническими объектами и технологическими процессами?
11. Что входит в информационное и методическое обеспечения систем автоматизации и управления техническими объектами и технологическими процессами?

Глава 2. Электрические машины постоянного тока

2.1. Основные уравнения

Для получения модели электродвигателя постоянного тока, описывающей установившиеся (статические) режимы и позволяющей получить основные характеристики, воспользуемся схемой на рис. 2.1 [5].

Полагаем, что якорная цепь питается от независимого источника с напряжением U , сопротивление цепи якоря R постоянно, магнитный поток Φ определяется лишь током возбуждения и не зависит от нагрузки, индуктивные параметры цепей не учитываются, поскольку рассматриваются лишь установившиеся (статические) режимы.

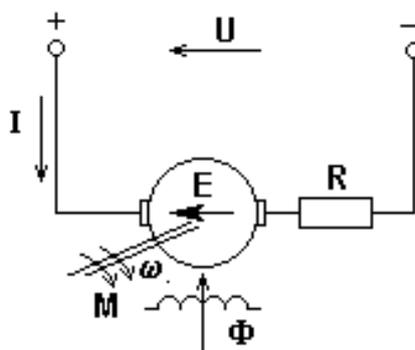


Рис. 2.1. Схема электродвигателя постоянного тока

Взаимодействие тока I в обмотке якоря с магнитным потоком Φ , создаваемым обмотками, расположенными на полюсах машины, приводит в соответствии с законом Ампера к возникновению электромагнитных сил, действующих на активные проводники обмотки и, следовательно, электромагнитного момента M :

$$M = k\Phi I \quad (2.1)$$

где k – конструктивный параметр машины.

В движущихся с угловой скоростью ω в магнитном поле под действием момента M проводниках обмотки якоря в соответствии с законом Фарадея наводится электродвижущая сила (ЭДС) вращения E :

$$E = k\Phi\omega, \quad (2.2)$$

направленная в рассматриваемом случае встречно по отношению к вызвавшей движение причине – ЭДС источника питания U .

В соответствие со вторым законом Кирхгоффа для якорной цепи машины справедливо уравнение:

$$U - E = IR. \quad (2.3)$$

Уравнения (2.1) – (2.3) представляют простейшую модель электродвигателя постоянного тока. Для решения практических задач они должны быть дополнены уравнением движения с моментом потерь ΔM , входящим в M_c (момент статических сопротивлений),

$$M - M_c = J \frac{d\omega}{dt}$$

и уравнениями цепи возбуждения для конкретной схемы электродвигателя.

При возрастании M_c скорость двигателя начнет снижаться, значит уменьшится в соответствии с (2.2) и ЭДС (полагаем для простоты, что Φ , а также U и R – постоянные). Из (2.3) следует, что $I = (U - E)/R$, следовательно, ток вырастет, обусловив тем самым рост момента в соответствии с (2.1). Электродвигатель автоматически, без каких-либо внешних воздействий перейдет в новое установившееся состояние. Эти процессы имеют место при любых величинах и знаках M_c , то есть ЭДС выполняет функцию регулятора как в двигательном, так и в тормозных режимах работы электродвигателя.

2.2. Характеристики и режимы при независимом возбуждении ($U = \text{const}$)

При использовании двигателя постоянного тока с независимым возбуждением (ДПТ НВ) – рис. 2.2 [5] с питанием от источника напряжения $U = \text{const}$ уравнение электрохимической характеристики $\omega(I)$ получится подстановкой (2.2) в (2.3) и решением относительно ω :

$$\omega = \frac{U - IR}{k\Phi} \quad (2.4)$$

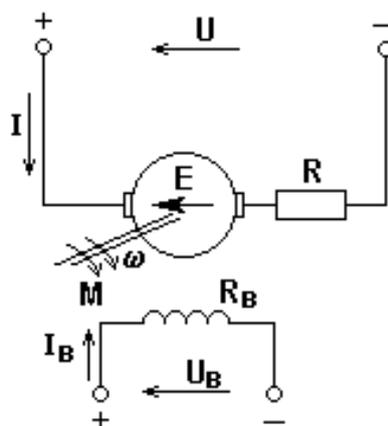


Рис. 2.2. Схема электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения

Механическую характеристику $\omega(M)$ получим, подставив в (2.4) ток, выраженный из (2.1)[5]:

$$\omega = \frac{U}{k\Phi} - \frac{MR}{(k\Phi)^2}. \quad (2.5)$$

При заданных U , Φ и R уравнения (2.4) и (2.5) однозначно определяют связь между ω , I и M в любых режимах. Характеристики $\omega(M)$ и $\omega(I)$ это прямые линии, проходящие через две характерные точки: $M = 0$, $\omega = \omega_0$ и $\omega = 0$, $I = I_{к.з.}$, $M = M_{к.з.}$; при $\Phi = \text{const}$ они различаются лишь масштабами по оси абсцисс.

Скорость $\omega_0 = \frac{U}{k\Phi}$ (рис. 2.3) соответствует режиму идеального холостого хода: $M = 0$, $E = U$ и направлены встречно.

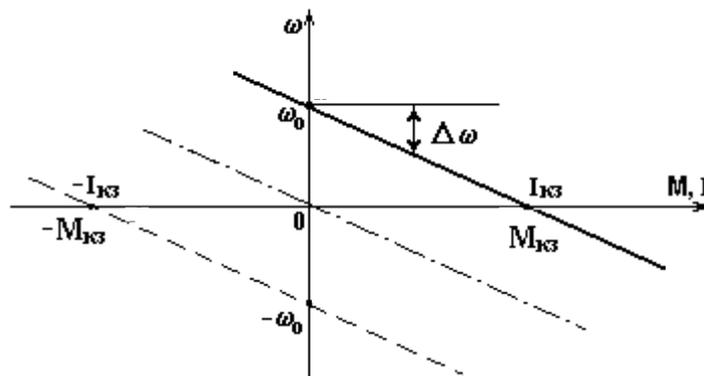


Рис. 2.3. Механические (электромеханические) характеристики электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения при $U = \text{const}$ [5]

Величина $\Delta\omega = \frac{MR}{(k\Phi)^2}$ – перепад скорости под влиянием нагрузки.

Увеличением нагрузки при определенных условиях можно прийти к режиму короткого замыкания [5]: $\omega = 0$, $I = \frac{U}{R} = I_{к.з.}$, $M = k\Phi I_{к.з.} = M_{к.з.}$.

При изменении полярности U характеристика займет положение, показанное на рис. 2.3 пунктиром.

Участки характеристики между ω_0 и $M_{к.з.}$, где знаки ω и M совпадают, соответствуют двигательному режиму работы; участки с разными знаками ω и M – тормозным режимам.

Тормозные режимы – это генераторные режимы, поскольку механическая энергия, поступившая с вала машины, преобразуется в электрическую и передается через электрические зажимы машины. В зависимости от того, куда поступает электрическая энергия, различают три тормозных режима: 1) торможе-

ние с отдачей энергии в сеть (рекуперативное) или генераторный режим работы параллельно с сетью; 2) торможение противовключением или генераторный режим работы последовательно с сетью; 3) динамическое торможение или генераторный режим работы независимо от сети.

2.3. Характеристики и режимы при независимом возбуждении ($I = \text{const}$)

В ряде применений якорная цепь двигателя постоянного тока независимого возбуждения питается не от источника напряжения, как в предыдущем случае, а от источника тока ($I = \text{const}$) – рис. 2.4. При этом сохраняют силу соотношения (2.1) – (2.3), однако свойства электропривода радикально изменяются.

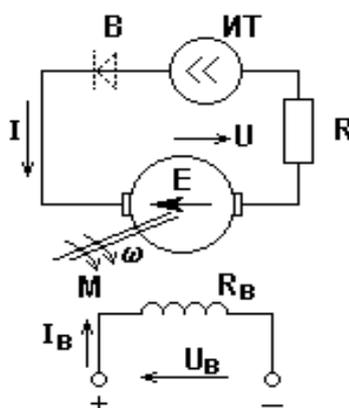


Рис. 2.4. Схема двигателя постоянного тока независимого возбуждения при питании от источника тока

Электромеханическая $\omega(I)$ и механическая $\omega(M)$ характеристики представлены теперь вертикальными прямыми (рис. 2.5) [5]

$$I = \text{const} \quad (2.6)$$

и

$$M = k\Phi I = \text{const} \quad (2.7)$$

Напряжение U становится зависимой переменной

$$U = E + IR = k\Phi\omega + IR, \quad (2.8)$$

и характеристика $\omega(U)$ (рис. 2.5) определяет энергетические режимы работы электродвигателя.

Режима идеального холостого хода в рассматриваемой структуре нет. Двигательный режим соответствует участку ab в 1 квадранте. Режим короткого замыкания – точка a , здесь $E = 0$ и $U = IR$. На участке ac $M\omega < 0$ – торможение противовключением. В точке c $U = 0$ – режим динамического торможения: вся

поступившая механическая энергия рассеивается в сопротивлениях якорной цепи.

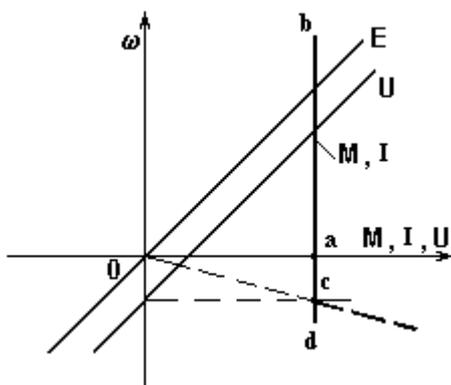


Рис. 2.5. Характеристики электродвигателя при питании якоря от источника тока

На участке cd $M\omega < 0$ и $UI < 0$ – рекуперативное торможение, если источник тока позволяет передать энергию в сеть. Если источник тока обладает односторонней проводимостью (пунктир на рис. 2.4) этого режима не будет, и электропривод будет продолжать работать в режиме динамического торможения (пунктир на рис. 2.5).

2.4. Характеристики и режимы при последовательном возбуждении

В электродвигателях с последовательным возбуждением обмотка возбуждения включена последовательно с обмоткой якоря – рис. 2.6

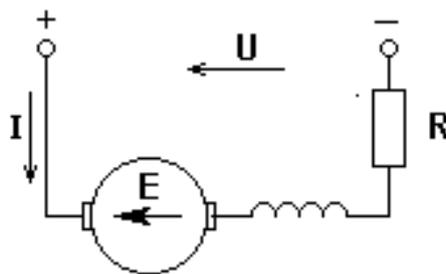


Рис. 2.6. Схема электродвигателя постоянного тока последовательного возбуждения

Для электродвигателя последовательного возбуждения при питании якоря от источника напряжения ($U = \text{const}$) справедливы уравнения (2.4) и (2.5), однако, если для двигателя независимого возбуждения поток не зависит от тока нагрузки, то для двигателя последовательного возбуждения поток является

функцией тока нагрузки.

Зависимость $\Phi = \varphi(I)$ – характеристика намагничивания – не имеет простого аналитического выражения, ее примерный вид изображен на рис. 2.7.

В первом приближении зависимость между скоростью двигателя и развиваемым им моментом в установившемся режиме можно найти в предположении, что поток возбуждения и ток в якоре двигателя связаны между собой линейной зависимостью (пунктир на рис. 2.7):

$$\Phi = \alpha I.$$

Тогда

$$\omega = \frac{U}{k\alpha I} - \frac{R}{k\alpha}, \quad (2.9)$$

а поскольку

$$M = k\Phi I = k\alpha I^2,$$

то

$$\omega = \frac{U}{\sqrt{k\alpha M}} - \frac{R}{k\alpha}. \quad (2.10)$$

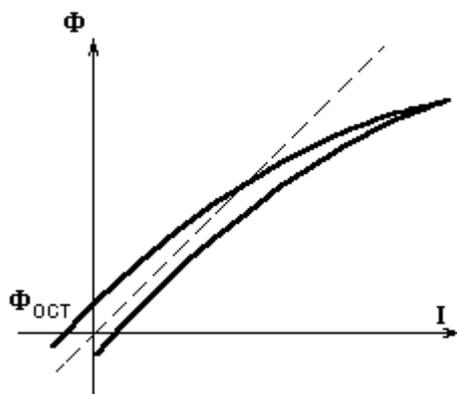


Рис. 2.7. Характеристика намагничивания машины постоянного тока

Таким образом, при сделанном допущении механическая характеристика двигателя последовательного возбуждения изображается гиперболой (рис. 2.8); одной из ее асимптот является ось ординат, а другой – прямая, параллельная оси абсцисс,

$$\omega = -\frac{R}{k\alpha}.$$

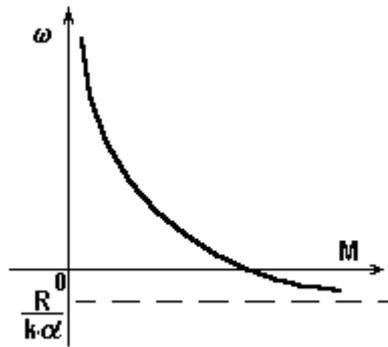


Рис. 2.8. Механическая характеристика электродвигателя последовательного возбуждения

Жесткость механической характеристики $\beta = \frac{dM}{d\omega}$ двигателя последовательного возбуждения переменна и возрастает с увеличением нагрузки.

Полученные уравнения дают лишь общее представление о характеристиках электродвигателя последовательного возбуждения, так как в действительности магнитная система машины насыщена и кривая намагничивания весьма далека от прямой. Поэтому в практических целях обычно пользуются универсальными характеристиками для серии машин – рис. 2.9, построенными в относительных величинах

$\omega^* = \frac{\omega}{\omega_n}, I^* = \frac{I}{I_n}$ и $M^* = \frac{M}{M_n}$; где ω_n, I_n и M_n – номинальные величины двигателя, $R_{доп} = 0$.

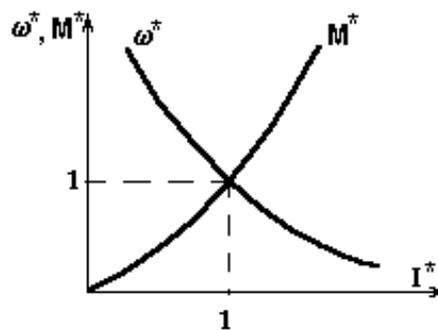


Рис. 2.9. Характеристики электродвигателя последовательного возбуждения в относительных величинах

Электропривод с двигателями последовательного возбуждения в нормальной схеме ($U = \text{const}$) может работать в тех же энергетических режимах, что и привод с электродвигателями независимого возбуждения, за исключением режима идеального холостого хода и генераторного режима параллельно с

сетью (рекуперативное торможение), поскольку при нагрузке, стремящейся к нулю, к нулю стремится и магнитный поток, ось ω – асимптота механической характеристики. Некоторые особенности при последовательном возбуждении имеет режим динамического торможения.

Работа машины постоянного тока с самовозбуждением возможна лишь при определенных условиях, а именно при таких значениях скорости и сопротивления R цепи якоря, чтобы имело место равенство

$$E = IR, \quad (2.11)$$

Существованию этого равенства отвечает наличие точки пересечения кривых $E = \varphi(I)$ (при данной скорости) и прямой $IR = f(I)$ – рис. 2.10. Очевидно, что чем больше R , тем при большей скорости произойдет самовозбуждение машины.

Наименьшая скорость, при которой машина может самовозбуждаться, будет при $R_{доб} = 0$, то есть при замкнутой накоротко якорной цепи машины.

Построение механической характеристики в режиме динамического торможения при самовозбуждении можно произвести, исходя из уравнения баланса мощностей.

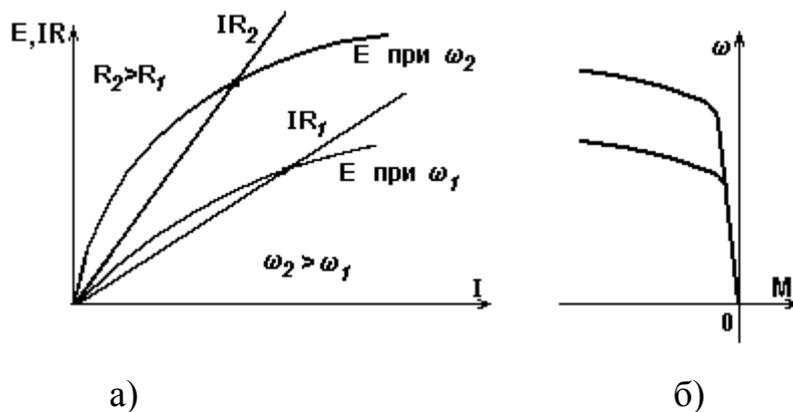


Рис. 2.10. Характеристики динамического торможения с самовозбуждением

Мощность, развиваемая двигателем в режиме динамического торможения, целиком рассеивается в сопротивлениях якорного контура, то есть

$$(-I)^2 R = -M\omega,$$

откуда

$$\omega = -\frac{I^2 R}{M}. \quad (2.12)$$

Зная R и задавая ток I , по универсальной характеристике определяют соответствующий этому току момент M , вычисляют скорость ω и т.д. Характер зависимой $\omega(M)$ в тормозном режиме при самовозбуждении изображен на рис. 2.10,б.

В электроприводах постоянного тока иногда используются двигатели смешанного возбуждения, имеющие две обмотки возбуждения, одна из которых включена последовательно в якорную цепь, а другая имеет независимое питание.

Двигатели последовательного возбуждения могут получать питание не только от источника напряжения, что было рассмотрено выше, но и от источника тока. Поскольку при этом магнитный поток будет неизменным, сохраняются и основные свойства электропривода, рассмотренные ранее.

2.5. Регулирование координат в разомкнутых структурах

Реостатное регулирование – самый простой и самый неблагоприятный способ регулирования скорости и (или) момента. В якорную цепь последовательно, если питание осуществляется от источника напряжения (рис. 2.11, а), включаются дополнительные резисторы.

В соответствии с (2.4) и (2.5) скорость идеального холостого хода при U_H и Φ_H и включении R_d не изменится: $\omega_0 = \frac{U_H}{k\Phi_H}$, а наклон характеристик

$\Delta\omega = \frac{IR}{k\Phi_H} = \frac{MR}{(k\Phi_H)^2}$ будет увеличиваться пропорционально $R = R_{я} + R_d$. Если считать, что при $I^* = M^* = 1$ [5]

$$\Delta\omega^* = R^*, \quad (2.13)$$

где $\Delta\omega^* = 1 - \omega^*$, $R^* = \frac{R}{R_H} = \frac{RI_H}{U_H}$.

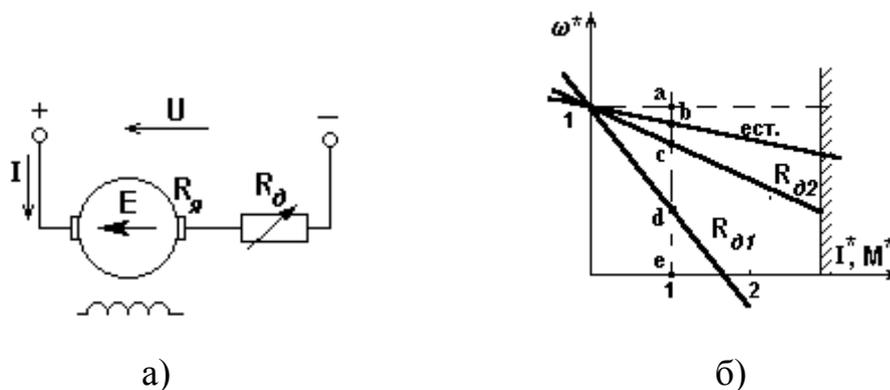


Рис. 2.11. Схема (а) и характеристики (б) при реостатном регулировании двигателя независимого возбуждения

Соотношение (2.13) позволяет решать прямую задачу – построить характеристики, если задано R , и обратную – найти R и R_d для заданной характеристики. Так, на рис. 2.11, б

$$R_{я} = R_n \frac{ab}{ae}, \quad R_{д1} = R_n \frac{bc}{ae}, \quad R_{д2} = R_n \frac{cd}{ae}, \quad R = R_{я} + R_{д1} + R_{д2} = R_n \frac{ad}{ae}.$$

В электроприводе с двигателем последовательного возбуждения при $U = U_n$ (рис. 2.12, а) и известной естественной характеристике

$$\omega_e = \frac{U_n - I(R_{я} + R_b)}{k\Phi}$$

можно использовать уравнение искусственных характеристик при реостатном регулировании

$$\omega_n = \frac{U_n - I(R_{я} + R_b + R_d)}{k\Phi}$$

и получить соотношение для расчета ω_u для любого тока:

$$\omega_u = \omega_e \frac{U_n - I(R_{я} + R_b + R_d)}{U_n - I(R_{я} + R_b)}. \quad (2.14)$$

Механическая характеристика может быть построена по известной зависимости $M(I)$. Примерный вид механических характеристик при реостатном регулировании показан на рис. 2.12, б.

При питании якорной цепи от источника тока ($I = \text{const}$) реостатное регулирование осуществляется включением R_d параллельно якорю – рис. 2.13, а; характеристики при этом существенно изменяются, появляется возможность регулировать как момент, так и скорость.

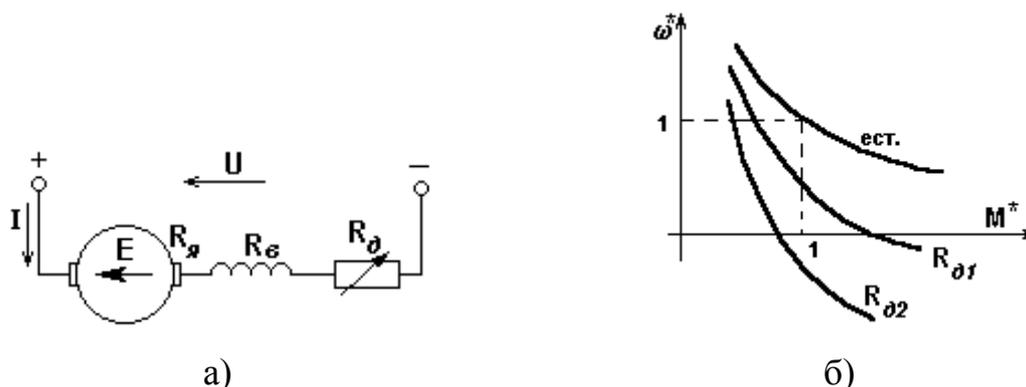


Рис. 2.12. Схема (а) и характеристики (б) при реостатном регулировании двигателя последовательного возбуждения

Таким образом, в системе источник тока – двигатель с шунтирующим резистором общей точкой механических характеристик при $\Phi = \text{const}$ и $R_d = \text{var}$

является точка короткого замыкания, тогда как в системе источник напряжения - двигатель при $R_d = \text{var}$ – точка идеального холостого хода. Примеры механических характеристик при изменении R_d ($\Phi = \Phi_n$) приведены на рис. 2.13, б.

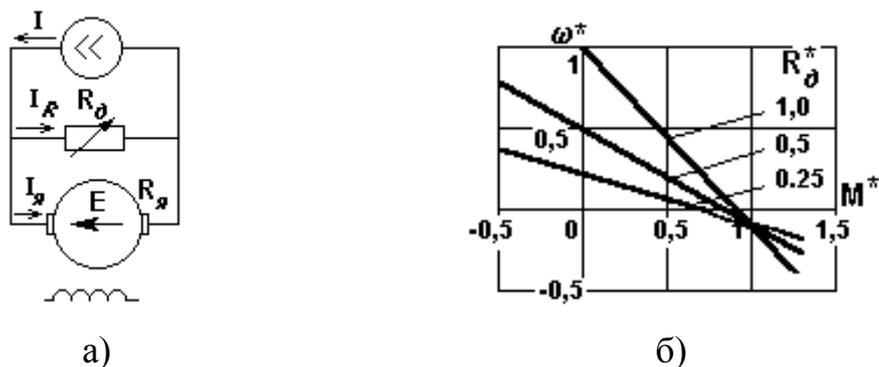


Рис. 2.13. Схема (а) и характеристики (б) при реостатном регулировании в системе источник тока – двигатель

Из графиков на рис. 2.13, б следует, что реостатное регулирование скорости в системе источник тока – двигатель более благоприятно при малых скоростях как с точки зрения жесткости характеристик – она тем выше, чем меньше скорость, так и с точки зрения потерь – они уменьшаются с уменьшением скорости.

Исходя из вышеизложенного можно определить следующие оценки реостатного способа регулирования [5]: 1) регулирование однозонное – вниз от основной скорости, так как вводя R_d , мы увеличиваем $\Delta\omega$, и все искусственные характеристики в 1 квадранте располагаются ниже естественной; 2) диапазон реостатного регулирования невелик (2...2,5):1, при изменении M_c на 40...50 %; 3) стабильность скорости – низкая, жесткость характеристик β падает с ростом

R , $\beta = \frac{dM}{d\omega} = -\frac{c^2}{R} = -\frac{1}{R}$. Это свойство реостатного регулирования часто существенно осложняет его использование: небольшое случайное изменение M_c на низких

скоростях приводит к значительному изменению ω ; 4) реостатное регулирование – ступенчатое, так как величина сопротивления резистора в якорной цепи допускает лишь дискретное изменение. Получение большого числа ступеней затруднено, так как требует большого количества коммутирующих аппаратов (контакторов); 5) при принятых допущениях (внешний обдув) можно считать, что $M_{\text{доп}} = M_n$ на любой реостатной характеристике, так как магнитный поток неизменен; 6) потери энергии при регулировании значительны и связаны с глу-

биной регулировки. Это непосредственно вытекает из способа регулирования: скорость изменяется за счет включения резистора – элемента, превращающего поступающую в него электрическую энергию в тепло.

Этот способ регулирования всё еще широко применяется на практике (подъемно-транспортные установки, общепромышленные механизмы и т.п.) в случаях, когда источником питания является сеть постоянного тока. Это объясняется практическим отсутствием до недавнего времени других возможностей регулировать скорость вниз от основной при питании от сети постоянного тока ($U = U_n = \text{const}$).

Разновидностью реостатного регулирования при $U = U_n$ являются схемы с шунтированием якоря двигателя, несколько расширяющие регулировочные возможности.

Отличие этого способа от ранее рассмотренного состоит в том, что в первом случае при идеальном холостом ходе двигателя напряжение на якоре равно напряжению сети для всех реостатных характеристик и не зависит от сопротивления якорной цепи. В шунтировочной схеме при $M_c = 0$ напряжение на якоре двигателя меньше напряжения сети и поэтому скорость идеального холостого хода снижается в зависимости от соотношения сопротивлений R_δ и $R_{ш}$.

Включение резисторов в якорную цепь при $U = U_n$ и $\Phi = \Phi_n$ используется для ограничения тока при пуске и реверсе электропривода, поскольку, как подчеркивалось, $I_{\text{доп}} = (2,5 \dots 3)I_n$, тогда как на естественной характеристике $I_{к.з} = (20 \dots 50)I_n$.

Схема силовых цепей при пуске и реверсе приведена на рис. 2.14, а, соответствующая диаграмма $\omega(M)$ – на рис. 2.14, б.

Регулирование координат изменением магнитного потока [5]. Схема включения двигателя для регулирования скорости изменением магнитного потока приведены на рис. 2.15. Будем полагать, что якорная цепь двигателя без каких-либо добавочных резисторов подключена к источнику с напряжением $U = U_n$, а цепь возбуждения питается от усилителя – возбудителя B (рис. 2.15) или в простейшем случае от того же источника через добавочный резистор. Нормальные электрические машины рассчитаны таким образом, что номинальному току возбуждения соответствует магнитный поток на колене кривой намагничивания. Типичная усредненная кривая намагничивания для ряда машин показана на рис. 2.16. Так как $I_{\text{вн}}$ соответствует допустимому нагреву обмоток возбуждения, то при регулировании скорости в условиях продолжительной ра-

боты ток возбуждения можно только уменьшать.

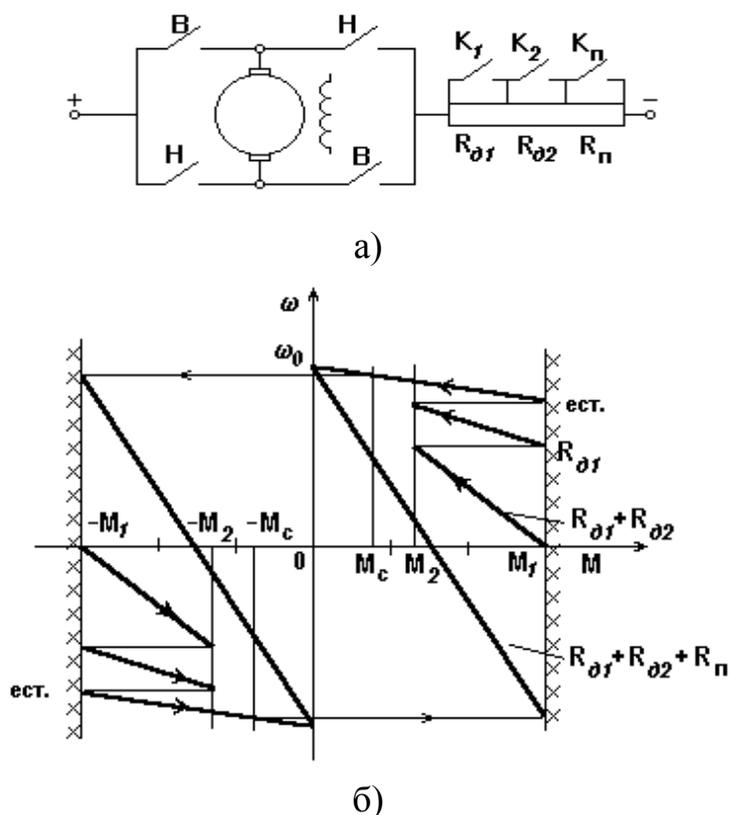


Рис. 2.14. Схема реостатного пуска – реверса двигателя постоянного тока независимого возбуждения (а) и пусковая диаграмма (б)

Электромеханические и механические характеристики двигателя при ослаблении поля показаны на рис. 2.17 [5] (нерабочие участки изображены пунктирными линиями). Скорость идеального холостого хода $\omega_0 = \frac{U_{\text{н}}}{k\Phi}$ растет с уменьшением потока. Так как ток короткого замыкания не зависит от степени ослабления поля, все электромеханические характеристики пересекаются в одной точке $I_{\text{к.з}} = \frac{U_{\text{н}}}{R_{\text{я}}}$ (следует помнить, что ток короткого замыкания для нормальных машин может во много раз превосходить допустимый). Момент короткого замыкания $M_{\text{к.з}} = kI_{\text{к.з}}\Phi$ уменьшается с уменьшением потока (рис. 2.17, б).

При питании якорной цепи от источника тока изменение магнитного потока, как это следует из (2.7), позволяет регулировать момент от $-M_{\text{н}}$ до $+M_{\text{н}}$ при вертикальных механических характеристиках.

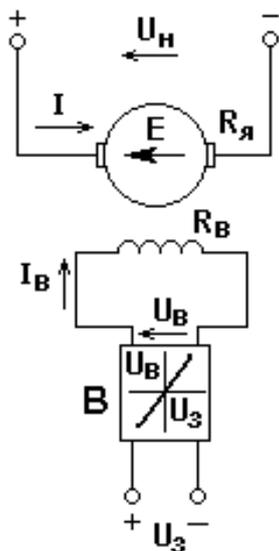


Рис. 2.15. Схема электропривода с регулированием скорости изменением магнитного потока

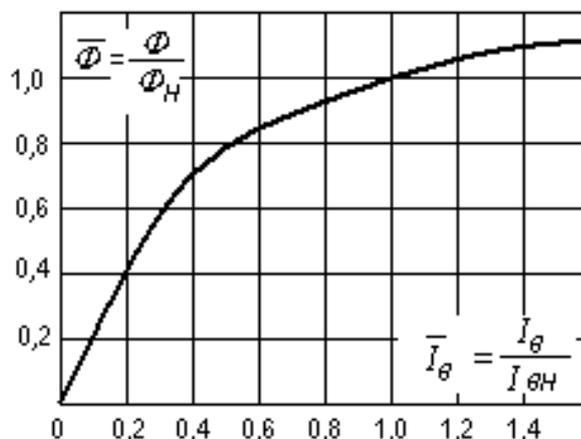


Рис. 2.16. Типичная кривая намагничивания машины постоянного тока

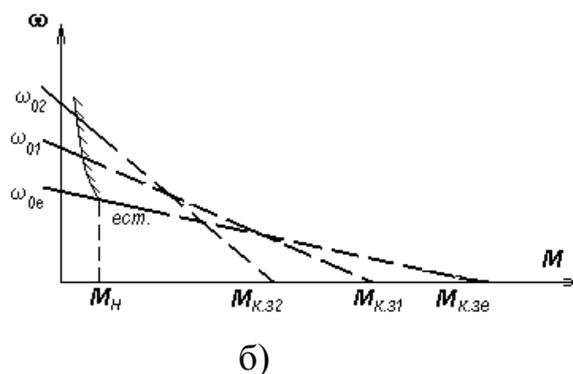
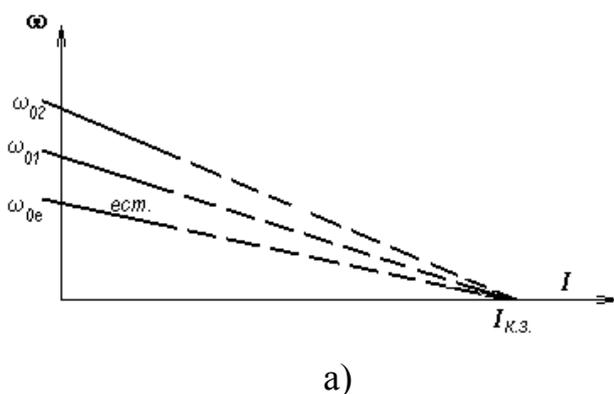


Рис. 2.17. Характеристики двигателя постоянного тока при ослаблении поля

Произведем оценку регулирования изменением магнитного потока [5]: 1) регулирование скорости при $U = \text{const}$ однозонное – вверх от основной скорости. Это главный недостаток способа, существенно ограничивающий область его применения. Способ обычно применяется в сочетании с другими, позволяющими регулировать скорость вниз от основной. Стабильность скорости относительно высокая – характеристики жесткие (следует помнить, что $I_{к.з} = (20 \dots 50)I_H$). Регулирование момента при $I = \text{const}$ – в широких пределах от $-M_H$ до $+M_H$; 2) диапазон регулирования скорости может быть значительным – до $(3 \dots 4):1$; 3) регулирование скорости плавное, можно получить характеристики, расположенные как угодно близко друг к другу; 4) в связи с тем, что регу-

лирование скорости при $U = \text{const}$ достигается уменьшением магнитного потока, $M_{\text{доп}} = kI_{\text{н}}\Phi < M_{\text{н}}$ на искусственных характеристиках (линия со штриховкой на рис. 2.17, б). Из уравнения (2.4), в котором $I = I_{\text{доп}} = I_{\text{н}}$, следует: $k\Phi = \frac{U_{\text{н}} - I_{\text{н}}R_{\text{я}}}{\omega}$ тогда $M_{\text{доп}} = I_{\text{н}} \frac{U_{\text{н}} - I_{\text{н}}R_{\text{я}}}{\omega}$ или $P_{\text{доп}} = M_{\text{доп}}\omega = U_{\text{н}}I_{\text{н}} - I_{\text{н}}^2R_{\text{я}} = \text{const}$, то есть при данном способе регулирования неизменна допустимая мощность, снимаемая с вала машины на искусственных характеристиках; 5) простота реализации рассматриваемого способа регулирования и отсутствие дополнительных элементов в силовой цепи, в которых рассеивается энергия, делают способ весьма эффективным с экономической точки зрения: регулирование не сопровождается дополнительными потерями энергии.

Регулирование скорости изменением напряжения на якоре [5]. Схема электропривода, обеспечивающая регулирование напряжения на якоре, показана на рис. 2.18, а. Этот способ регулирования предполагает использование силового управляемого преобразователя (УП), установленная мощность которого превышает мощность двигателя. Из уравнений (2.4) и (2.5) следует, что при изменении U (в данном случае $E_{\text{н}}$) пропорционально изменяется лишь ω_0 , а $\Delta\omega$ не зависит от U , т.е. семейство искусственных характеристик при $k\Phi = k\Phi_{\text{н}} = c$ – параллельные прямые с наклоном несколько большим чем у естественной характеристики двигателя, поскольку $R = R_{\text{я}} + R_{\text{н}}$ – рис. 2.18, б; предполагается, что УП имеет двустороннюю проводимость.

Уравнения характеристик:

$$\omega = \frac{KU_{\text{вх}}}{c} - \frac{I(R_{\text{я}} + R_{\text{н}})}{c}$$

и

$$\omega = \frac{KU_{\text{вх}}}{c} - \frac{M(R_{\text{я}} + R_{\text{н}})}{c^2}, \quad (2.15)$$

где $K = \frac{E_{\text{н}}}{U_{\text{вх}}}$ – коэффициент передачи УП.

Свойства УП оказывают влияние на вид характеристик. Так, при использовании преобразователей с односторонней проводимостью ($I > 0$) характеристики располагаются лишь в I и IV квадрантах.

Проведем оценку рассматриваемого способа регулирования скорости: 1) регулирование однозонное, вниз от основной скорости; 2) диапазон регулирования в разомкнутой структуре (8...10):1, стабильность скорости достаточно высокая; 3) регулирование плавное; 4) $M_{\text{доп}} = M_{\text{н}}$, так как $k\Phi = k\Phi_{\text{н}} = c$; 5) способ

экономичен в эксплуатации, поскольку не используются дополнительные резисторы, рассеивающие энергию.

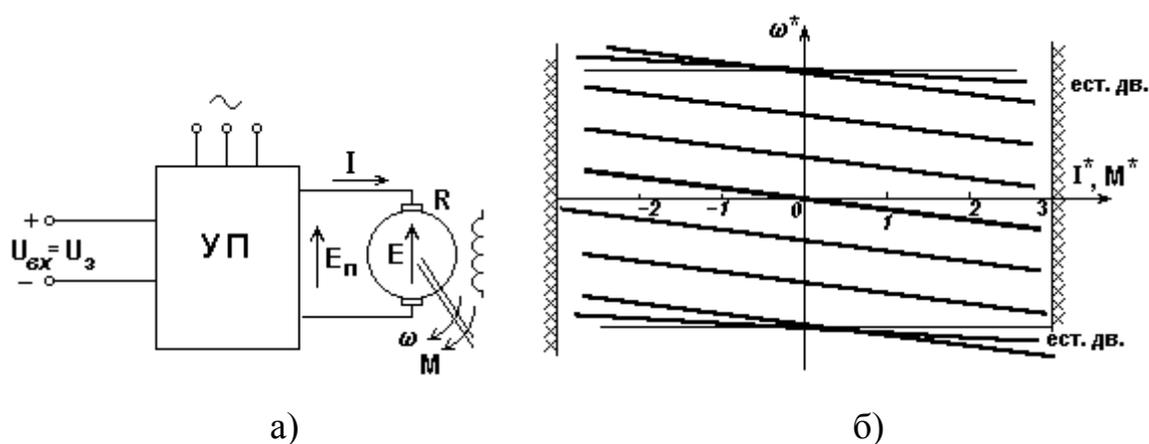


Рис. 2.18. Схема (а) и характеристики (б) при регулировании скорости двигателя постоянного тока изменением напряжения

Кроме того, как будет показано ниже, при управлении напряжением удастся существенно снизить потери энергии в переходных процессах и обеспечить наиболее благоприятное их протекание.

Вопросы для самопроверки

1. Опишите основную схему включения ДПТ НВ.
2. Какие допущения принимаются при выводе формул для характеристик двигателя постоянного тока?
3. Назовите виды и соответствующие признаки энергетических режимов ДПТ.
4. Назовите основные способы регулирования координат ЭП с ДПТ НВ.
5. Охарактеризуйте основные способы регулирования скорости ДПТ НВ.
6. Что такое пусковая диаграмма и как она строится?
7. В чем цель и сущность формирования статических и динамических характеристик электропривода?
8. Что такое универсальные характеристики двигателей постоянного тока последовательного и смешанного возбуждения (ДПТ ПВ, ДПТ СВ)?
9. В чем особенности схемы включения и характеристик ДПТ ПВ?
10. Назовите способы регулирования скорости ДПТ ПВ.
11. Назовите способы торможения ДПТ ПВ.

Глава 3. Электродвигатели переменного тока

3.1. Общие сведения

Отечественные электромашиностроительные предприятия выпускают асинхронные двигатели (АД) общепромышленного назначения различного конструктивного исполнения (серии 4А, 5А, 6А, АИР и др.) и их модификации специального назначения: взрывозащищенные двигатели (ВА, ВРА, 2В, АИМ и др.); крановые и лифтовые двигатели (МТФ, МТН, МТКФ, МТКН, 4МТМ, 4МТКМ, 5АН, АНП и др.); высоковольтные АД (А4, ДА304 и др.). Среди зарубежных производителей наиболее широкую номенклатуру АД предлагает компания Siemens. Компанией выпускаются следующие серии:

Стандартные двигатели серии 1LA8 на 400 В (500...690 В): 3000 об/мин: 250...1000 кВт; 1500 об/мин: 250...1000 кВт; 1000 об/мин: 200...800 кВт; 750 об/мин: 160...630 кВт. Двигатели предназначены для работы от сети с преобразователями частоты (ПЧ).

Стандартные двигатели серии 1PQ8 на 400 В и 690 В с дополнительным встроенным вентилятором охлаждения: 3000 об/мин: 250...1000 кВт; 1500 об/мин: 250...1000 кВт; 1000 об/мин: 200...800 кВт; 750 об/мин: 160...630 кВт. Двигатели предназначены для работы от сети и с ПЧ.

Взрывозащищенные двигатели серии 1MA8 на 400 В и 690 В. Степень взрывозащиты EExeIIТЗ (повышенная надежность против взрыва). 3000 об/мин: 220...300 кВт (до 400 кВт по классу Т2); 1500 об/мин: 215...350 кВт (до 400 кВт по классу Т2); 1000 об/мин: 200...315 кВт (до 340 кВт по классу Т2). По запросу могут поставляться двигатели во взрывозащищенном исполнении Exd или Exd(e) – двигатели серии 1MJ8.

Мощные двигатели серии 1LA1 для работы с ПЧ с выходным напряжением 690 В. 3000 об/мин: 680...1650 кВт; 1500 об/мин: 655...1910 кВт; 1000 об/мин: 470...1570 кВт; 750 об/мин: 360...1230 кВт. 10-ти и 12-ти полюсные машины (600 и 500 об/мин) – по заказу. По запросу могут поставляться двигатели 1LA1 во взрывозащищенном исполнении Ex n или Eexre II – "продувка под давлением".

Мощные двигатели серии 1PQ1 с встроенным дополнительным вентилятором охлаждения. Для работы с ПЧ с выходным напряжением 690 В. 1500 об/мин: 890...1910 кВт; 1000 об/мин: 715...2700 кВт; 750 об/мин: 550...2290 кВт; 10-ти и 12-ти полюсные машины (600 и 500 об/мин) – по заказу.

Взрывозащищенные двигатели серии 1MJ8 на 400 В и 690 В: степень

взрывозащиты EExdeIICT4; 3000 об/мин: 160...560 кВт; 1500 об/мин: 160...630 кВт; 1000 об/мин: 110...500 кВт; 750 об/мин: 90...450 кВт. Двигатели 1MJ8 могут поставляться с двумя клеммными коробками для снижения диаметра отдельных подводимых кабелей.

Другие двигатели – для рольгангов, дымососов, приводов главного движения металлообрабатывающих станков, крановые двигатели и др. – по требованию.

3.2. Модели асинхронного электропривода

Принцип действия асинхронной машины в самом общем виде состоит в следующем: один из элементов машины – статор используется для создания движущегося с определенной скоростью магнитного поля, а в замкнутых проводящих пассивных контурах другого элемента – ротора наводятся ЭДС, вызывающие протекание токов и образование сил (моментов) при их взаимодействии с магнитным полем. Все эти явления имеют место при несинхронном – асинхронном движении ротора относительно поля, что и дало машинам такого типа название – асинхронные.

Статор обычно выполнен в виде нескольких расположенных в пазах катушек, а ротор – в виде "беличьей клетки" (короткозамкнутый ротор) или в виде нескольких катушек (фазный ротор), которые соединены между собой, выведены на кольца, расположенные на валу, и с помощью скользящих по ним щеток могут быть замкнуты на внешние резисторы.

Несмотря на простоту физических явлений полное математическое описание процессов в асинхронной машине весьма сложно: 1) все напряжения, токи, потокосцепления – переменные, т.е. характеризуются частотой, амплитудой, фазой или соответствующими векторными величинами; 2) взаимодействуют движущиеся контуры, взаимное расположение которых изменяется в пространстве; 3) магнитный поток не линейно связан с намагничивающим током (проявляется насыщение магнитной цепи), активные сопротивления роторной цепи зависят от частоты (эффект вытеснения тока), сопротивления всех цепей зависят от температуры и т.п.

Рассмотрим модель асинхронной машины, пригодную для объяснения основных явлений в асинхронном электроприводе.

Принцип получения движущегося магнитного поля [5]. Пусть на статоре расположен виток (катушка) $A-X$ (рис. 3.1, a , b), по которому протекает пе-

ременный ток $i_A = I_m \sin \omega t$; $\omega = 2\pi f_1$. Магнитная движущая сила (МДС) F_A , созданная этим током, будет пульсировать по оси витка $F_A = F_m \sin \omega t$ (горизонтальные штриховые стрелки на рис. 3.1, в). Если добавить виток (катушку) $B-Y$, расположенный под углом 90° к $A-X$, и пропускать по нему ток $i_B = I_m \cos \omega t$, то МДС F_B будет пульсировать по оси этого витка (вертикальные стрелки): $F_B = F_m \cos \omega t$. Вектор результирующей МДС имеет модуль $F = \sqrt{F_A^2 + F_B^2} = F_m = \text{const}$.

Его фаза α определится из условия $\text{tg} \alpha = \frac{F_A}{F_B} = \text{tg} \omega t$.

Таким образом, вектор результирующей МДС при принятых условиях, т.е. при сдвиге двух витков в пространстве на $\frac{\pi}{2}$ и при сдвиге токов во времени

на $\frac{\pi}{2}$, вращается с угловой скоростью $\omega = 2\pi f_1$, где f_1 – частота токов в витках.

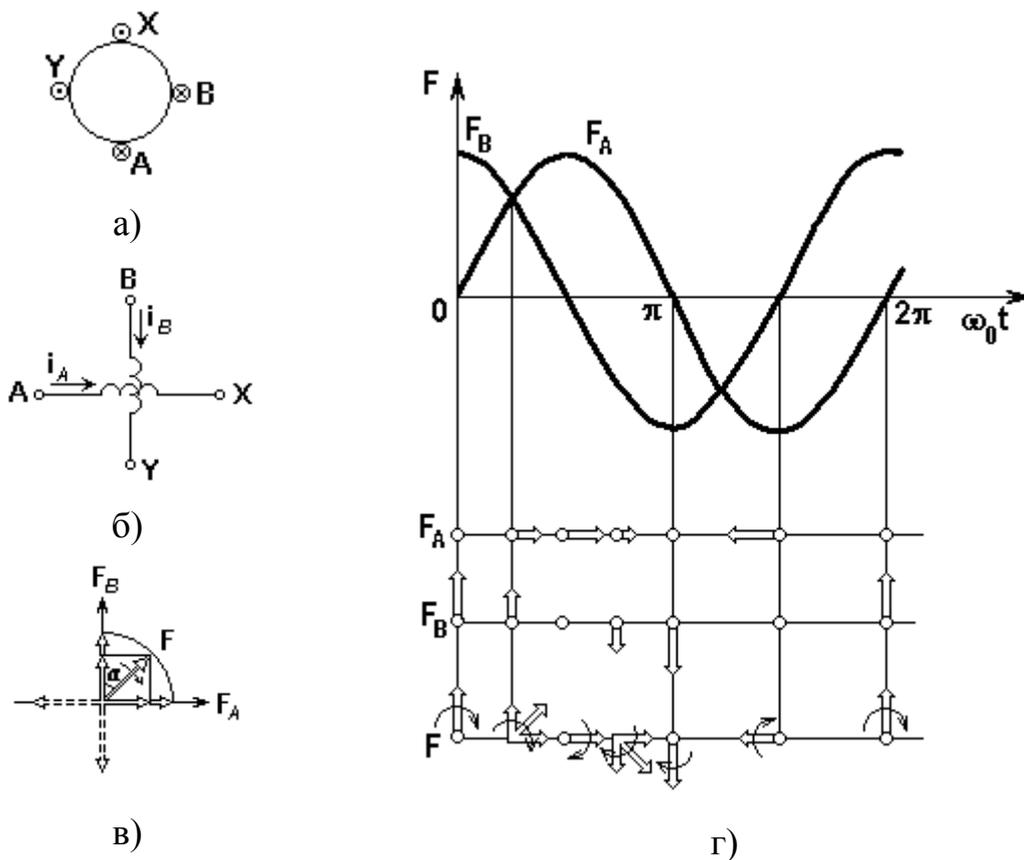


Рис. 3.1. К образованию вращающегося магнитного поля в машине

В общем случае для машины, имеющей p пар полюсов ($p = 1, 2, 3, \dots$), синхронная угловая скорость ω_0 , рад/с, т.е. скорость поля, определится как

$$\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p}; \quad (3.1)$$

для частоты вращения n_0 , об/мин, будем иметь:

$$n_0 = \frac{60f_1}{p}, \quad (3.2)$$

т.е. при питании от сети $f_1 = 50$ Гц синхронная частота вращения может быть 3000, 1500, 1000, 750, 600... об/мин в зависимости от конструкции машины.

Выражения (3.1) и (3.2) имеют принципиальный характер: они показывают, что для данной машины имеется лишь одна возможность изменять скорость поля – изменять частоту источника питания f_1 .

Процессы при $\omega = \omega_0$. Пусть ротор вращается со скоростью ω_0 , т.е. его обмотки не пересекают силовых линий магнитного поля и он не оказывает существенного влияния на процессы. В весьма грубом, но иногда полезном приближении можно представить обмотку фазы статора как некоторую идеальную катушку, к которой приложено переменное напряжение $u_1 = U_m \sin \omega t$. Мы будем дальше либо обозначать его и другие синусоидально изменяющиеся переменные соответствующими заглавными буквами, если интерес представляют лишь их действующие значения, либо будем добавлять точку вверху, показывая тем самым, что речь идет о временном векторе, имеющем амплитуду $U_m = \sqrt{2U}$ и фазу φ .

Очевидно, что приложенное напряжение \dot{U}_1 уравновесится ЭДС самоиндукции \dot{E}_1 (рис. 3.2, а, б)

$$E_1 = 4,44\Phi f_1 w_1 k_{об}, \quad (3.3)$$

где w_1 – число витков обмотки; $k_{об}$ – коэффициент, зависящий от конкретного выполнения обмотки.

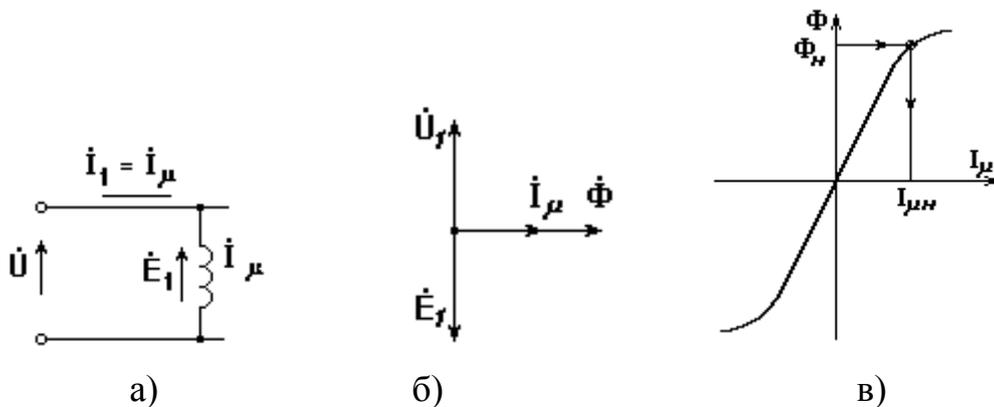


Рис. 3.2. Идеализированная модель асинхронной машины при $\omega = \omega_0$ (а), векторная диаграмма (б) и кривая намагничивания (в)

Можно приближённо считать, что магнитный поток определяется приложенным напряжением, частотой и параметрами обмотки:

$$\Phi = \frac{U_1}{4,44 f_1 w_1 k_{об}} \equiv \frac{U_1}{f_1} \quad (3.4)$$

Ток в обмотке (фазе) статора – ток намагничивания определится при этом лишь магнитным потоком и характеристикой намагничивания машины (рис. 3.2,в): $I_1 = I_{10} = I_m$.

В серийных машинах при $U_1 = U_{1н}$ и $f_1 = f_{1н}$, т.е. при номинальном магнитном потоке ток холостого хода I_{10} составляет обычно 30%...40% от номинального тока статора $I_{1н}$.

Процессы под нагрузкой. При нагружении вала $\omega \neq \omega_0$; отличие скоростей ω и ω_0 принято характеризовать скольжением

$$s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \quad (3.5)$$

Теперь в роторной цепи появится ЭДС E'_2 , наведенная по закону электромагнитной индукции и равная

$$E'_2 = E_1 s; \quad (3.6)$$

штрихом здесь и далее отмечены приведенные величины, учитывающие неодинаковость обмоток статора и ротора. Частота наведенной ЭДС составляет

$$f_2 = f_1 s \quad (3.7)$$

Ток I'_2 в роторной цепи, обладающей сопротивлением R'_2 и индуктивностью L'_2 , определится как

$$I'_2 = \frac{E'_2}{\sqrt{(R'_2)^2 + (2\pi f_2 L'_2)^2}}$$

или после простых преобразований

$$I'_2 = \frac{U_1}{\sqrt{(R'_2/s)^2 + (X'_2)^2}}, \quad (3.8)$$

где X'_2 - индуктивное сопротивление рассеяния вторичной цепи при частоте f_1 .

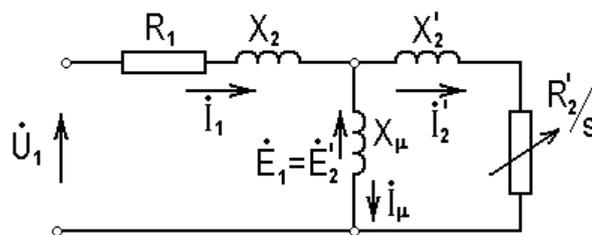


Рис. 3.3. Схема замещения фазы АД

Мы получили уравнение, соответствующее традиционной схеме замещения фазы асинхронного двигателя – рис. 3.3, в которой учтены и параметры статора R_1 и X_1 . Эта модель пригодна для анализа установившихся режимов при симметричном двигателе с симметричным питанием [5].

3.3. Механические характеристики

Для получения механической характеристики ещё более упростим модель – вынесем контур намагничивания на зажимы – рис. 3.4, а [5].

Поскольку $M = k\Phi I_{2a} = k\Phi I_2 \cos\psi_2$, где I_{2a} – активная составляющая тока ротора, ψ_2 – угол между \dot{E}_2 и \dot{I}_2 .

Магнитный поток Φ в первом приближении в соответствии с (3.4) не зависит от s – рис. 3.4, б. Ток ротора (3.8) равен нулю при $s = 0$ и асимптотически стремится к U_1/X_2' при $s \rightarrow \pm\infty$ – рис. 3.4, б. Последний множитель легко определить по схеме замещения:

$$\cos\psi_2 = \frac{R_2'/s}{\sqrt{(R_2'/s)^2 + (X_2')^2}};$$

$\cos\psi_2$ близок к ± 1 при малых s и асимптотически стремится к нулю при $s \rightarrow \pm\infty$. Момент, как произведение трех множителей, равен нулю при $s = 0$ ($\omega = \omega_0$ – идеальный холостой ход), достигает положительного $M_{к+}$ и отрицательного $M_{к-}$ максимумов – критических значений при некоторых критических значениях скольжения $\pm s_k$, а затем при $s \rightarrow \pm\infty$ стремится к нулю за счет третьего множителя.

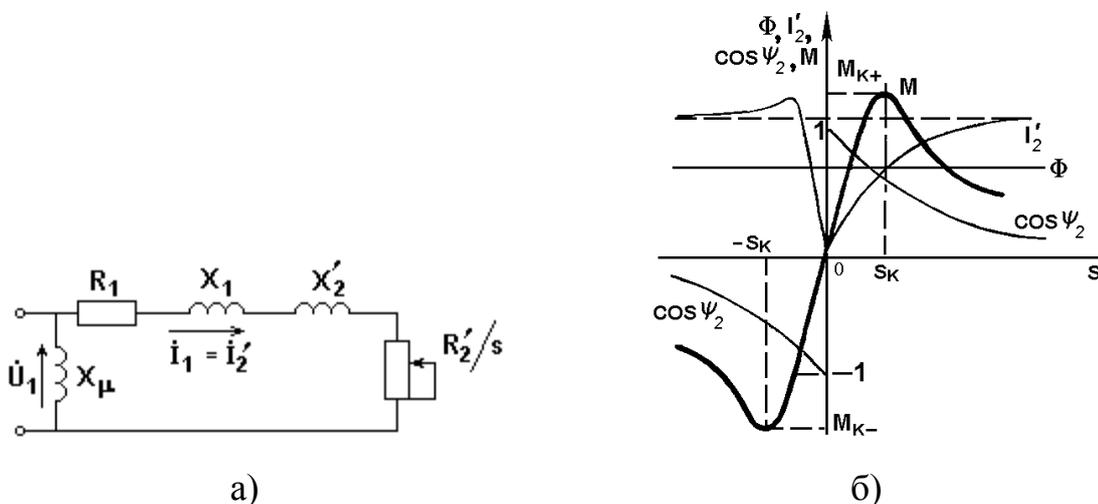


Рис. 3.4. Упрощенная схема замещения (а) и характеристики асинхронной машины (б)

Уравнение механической характеристики получим, приравняв потери в роторной цепи, выраженные через механические и через электрические величины. Мощность, потребляемая из сети, если пренебречь потерями в R_1 , примерно равна электромагнитной мощности: $P_1 \approx P_{эм} = M\omega_0$, а мощность на валу определяется как $P_2 = M\omega$. Потери в роторной цепи составят

$$\Delta P_2 = P_1 - P_2 \approx M\omega_0 - M\omega = M\omega_0 s = P_1 s \quad (3.9)$$

или при выражении их через электрические величины $\Delta P_2 = 3(I_2')^2 R_2'$, откуда

$$M = \frac{3(I_2')^2 R_2'}{\omega_0 s}. \text{ Подставив в последнее выражение } I_2' \text{ из (3.8) и найдя экстремум}$$

функции $M = f(s)$ и соответствующие ему M_κ и s_κ , будем иметь

$$M_\kappa = \frac{2M_\kappa(1 + as_\kappa)}{\frac{s}{s_\kappa} + \frac{s_\kappa}{s} + 2as_\kappa}, \quad (3.10)$$

где $a = R_1/R_2'$;

$$M_\kappa = \frac{3U^2}{2\omega_0 \left[R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2} \right]}; \quad (3.11)$$

$$s_\kappa = \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2}}. \quad (3.12)$$

На практике иногда полагают, что $a = 0$, т.е. пренебрегают активным сопротивлением обмоток статора. Это обычно не приводит к существенным погрешностям при $P_n > 5$ кВт, однако может неоправданно ухудшить модель при малых мощностях. При $a = 0$ выражения (3.10) – (3.12) имеют вид

$$M = \frac{2M_\kappa}{\frac{s}{s_\kappa} + \frac{s_\kappa}{s}}; \quad (3.10, a)$$

$$M_\kappa = \frac{3U_1^2}{(2\omega_0 X_\kappa)}; \quad (3.11, a)$$

$$s_\kappa = \frac{R_2'}{X_\kappa}, \quad (3.12, a)$$

где $X_\kappa = X_1 + X_2'$ – индуктивное сопротивление рассеяния машины.

В уравнении (3.10, a) при $s \ll s_\kappa$ можно пренебречь первым членом в знаменателе и получить механическую характеристику на рабочем участке в

$$\text{виде } M \approx \frac{2M_{\kappa}s}{s_{\kappa}}. \quad (3.13)$$

Как следует из рис. 3.4, б и выражений (3.10) и (3.10, а), жесткость механической характеристики асинхронных двигателей переменна, на рабочем участке $\beta < 0$, а при $|s| > |s_{\kappa\beta}|$ – положительна.

Асинхронный электропривод как и электропривод постоянного тока, может работать в двигательном и трех тормозных режимах с таким же, как в электроприводе постоянного тока распределением потоков энергии – рис. 3.5 [5].

Рекуперативное торможение (р.т.) осуществляется при вращении двигателя активным моментом со скоростью $\omega > \omega_0$. Этот же режим будет иметь место, если при вращении ротора со скоростью ω уменьшить скорость вращения поля ω_0 . Роль активного момента здесь будет выполнять момент инерционных масс вращающегося ротора.

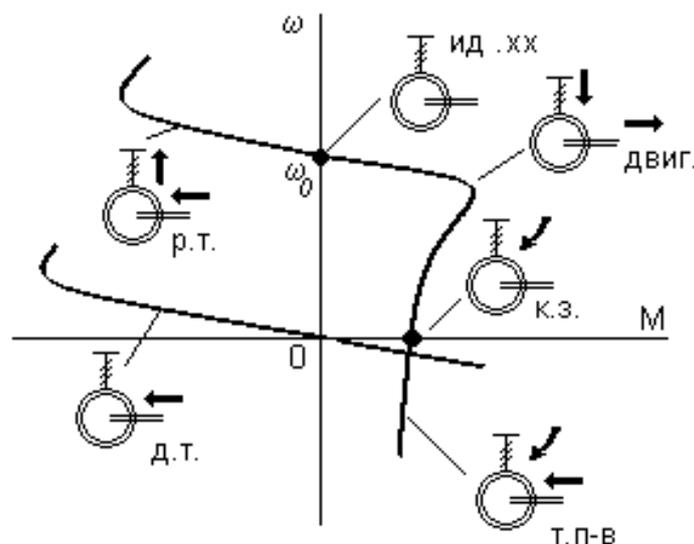


Рис. 3.5. Энергетические режимы асинхронного электропривода

Для осуществления торможения противовключением (т. п-в) необходимо поменять местами две любые фазы статора – рис. 3.6. При этом меняется направление вращения поля, машина тормозится в режиме противовключения, а затем реверсируется.

Специфическим является режим динамического торможения, которое представляет собою генераторный режим отключенного от сети переменного тока асинхронного двигателя, к статору которого подведен постоянный ток $I_{\text{п}}$. Этот режим применяется в ряде случаев, когда после отключения двигателя от

сети требуется его быстрая остановка без реверса.

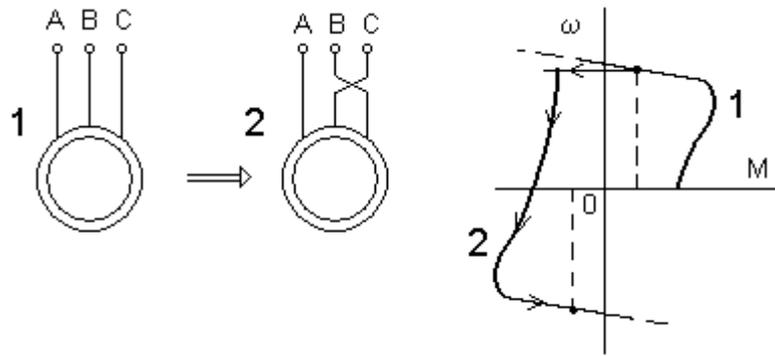


Рис. 3.6. Реверс асинхронного двигателя

В режиме динамического торможения поле статора неподвижно скольжение записывается как $s = \frac{\omega}{\omega_0}$ и справедливы соотношения для механической характеристики аналогичные (3.10, а) – (3.12, а):

$$M = \frac{2 M_{к.м}}{\frac{s}{s_{к.м}} + \frac{s_{к.м}}{s}}, \quad (3.14)$$

$$M_{к.м} = \frac{3 I_{экр}^2 X_{\mu}^2}{2 \omega_0 (X_{\mu} + X_2')}, \quad (3.15)$$

где $I_{экр} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} I_n$ при соединении обмоток статора в звезду и $I_{экр} = \frac{\sqrt{2}}{3} I_n$ при соединении обмоток статора в треугольник;

$$s_{к.м} = \frac{R_2'}{X_{\mu} + X_2'}. \quad (3.16)$$

Так как при ненасыщенной машине $X_{\mu} \gg X_2'$, критическое скольжение в режиме динамического торможения $s_{к.м}$ существенно меньше s_k .

Для построения естественной электромеханической и механической характеристик, можно воспользоваться несколькими опорными точками – рис. 3.7 [5].

Точка 1 ($\omega = \omega_0, M = 0, I_1 = I_{хх} \approx 0,35 I_{1н}$) получится из ряда $n_0 = 3000, 1500, 1000, 750, 600$ об/мин как ближайшая большая к n_n ; $\omega_0 = \frac{\pi n_0}{30}$.

Точка 2 - номинальная.

Точка 3 ($\omega = \omega_k, M = M_k$). Нужно рассчитать $M_H = \frac{P_H}{\omega_H}$, определить $M_k = \lambda M_H$

и вычислить s_k по (3.10) или (3.10, а), подставив в эти уравнения M_H и

$$s_H = \frac{\omega_0 - \omega_H}{\omega_0}.$$

Точка 4 ($\omega = 0, M = M_{п}, I_1 = I_{1п}$) рассчитывается непосредственно по каталожным данным.

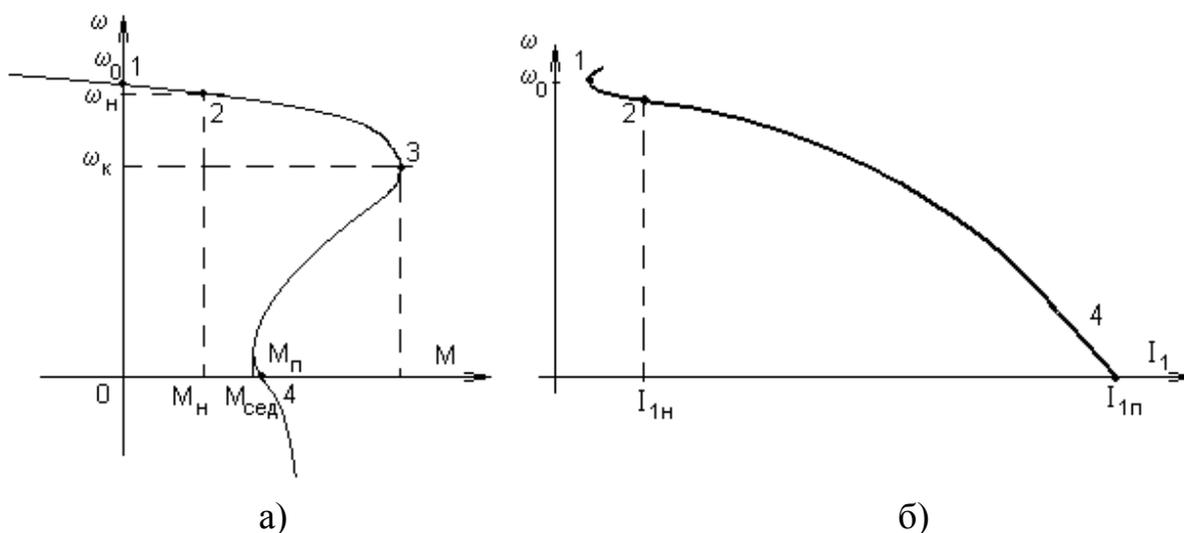


Рис. 3.7. К построению естественных характеристик АД с к.з. ротором

3.4. Регулирование координат двигателя с короткозамкнутым ротором

Наибольшее распространение в электроприводах переменного тока получили АД с короткозамкнутым ротором. Их массовое применение обусловлено высокой надежностью, простотой эксплуатации, сравнительно низкой стоимостью и хорошими регулировочными свойствами при работе от преобразователя частоты. Соединение вала двигателя с рабочим органом машины или механизма может выполняться напрямую – безредукторным способом либо через понижающий, в некоторых случаях через повышающий, редуктор. Способ механического соединения зависит от конструкции, требуемой скорости вращения и момента приводного механизма, однако более предпочтительным является использование безредукторных приводов [13]. При невозможности безредукторного исполнения привода в современном машиностроении широкое применение получили мотор-редукторы – электродвигатель и понижающий редуктор, образующие единую конструкцию. Область применения мотор-редукторов, как правило, ограничена мощностью 200 кВт. Более мощные редукторы изготавли-

ваются индивидуально.

Частотно-регулируемый электропривод – рис. 3.8, а стал основным типом регулируемого электропривода.

Частотное регулирование [5]. Как следует из (3.1) ω_0 пропорциональна частоте f_1 и не зависит для данной машины от каких-либо других величин. Вместе с тем, изменяя f_1 , следует заботиться об амплитуде напряжения: при уменьшении f_1 для сохранения магнитного потока на некотором, например, номинальном уровне в соответствии с (3.4) следует изменять $E_1 \approx U_1$ так, чтобы

$$\frac{U_1}{f_1} = \frac{U_{1н}}{f_{1н}} = \text{const}.$$

При увеличении частоты от номинальной при $U_1 = U_{1н}$ поток в соответствии с (3.4) будет уменьшаться.

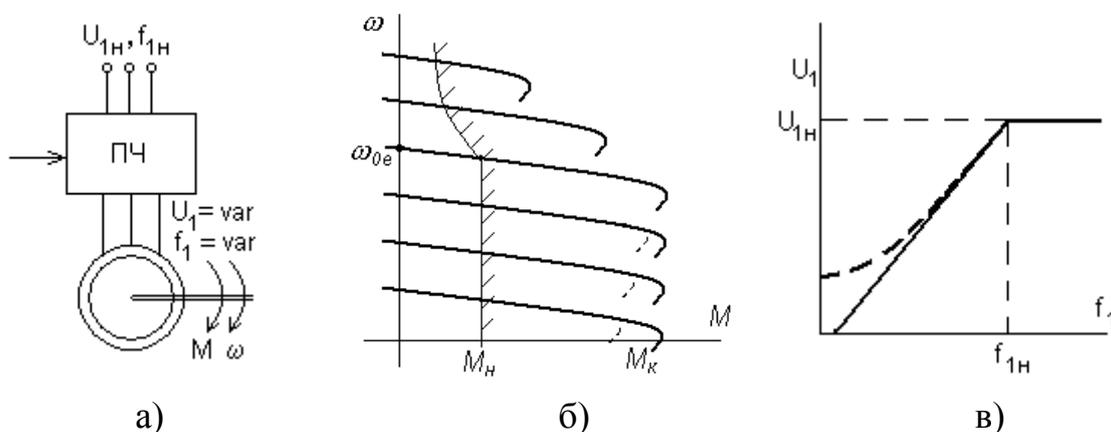


Рис. 3.8. Схема частотно-регулируемого электропривода (а), механические характеристики (б), зависимость напряжения от частоты (в)

Как следует из (3.11, а), в пренебрежении R_1 , т.е. в предположении, что $E_1 \approx U_1$, критический момент также пропорционален $\frac{U_1}{f_1}$, тогда как критическое скольжение s_k обратно пропорционально f_1 .

Механические характеристики при частотном регулировании в предположении, что $E_1 = U_1$, показаны на рис. 3.8, б.

Сопротивление цепи статора, которым мы пренебрегаем, оказывает влияние на характеристики особенно малых машин (киловатты) – пунктир на рис. 3.8, б, поскольку при снижении частоты $E_1 < U_1$. Для компенсации этого влияния обычно несколько увеличивают напряжение при низких частотах – пунктир на рис. 3.8, в.

Проведем оценку частотного регулирования скорости по введенным ранее показателям: 1) регулирование двухзонное – вниз ($U_1/f_1 \approx \text{const}$) и вверх ($U_1 = U_{1н}, f_1 > f_{1н}$) от основной скорости; 2) диапазон регулирования в разомкнутой структуре (8...10):1; 3) регулирование плавное; 4) допустимая нагрузка – $M = M_n$ при регулировании вниз от основной скорости ($\Phi \approx \text{const}$), $P = P_n$ при регулировании вверх ($\Phi < \Phi_n$).

Параметрическое регулирование [5]. Отсутствие до недавнего времени доступного и качественного преобразователя частоты приводило к поиску других решений, одно из которых – изменение U_1 при $f_1 = f_{1н} = \text{const}$ – рис. 3.9, а.

Как следует из (3.11, а), критический момент при таком регулировании будет снижаться пропорционально U_1^2 , критическое скольжение в соответствии с (3.12, а) останется неизменным – сплошные линии на рис. 3.9, б. В замкнутой по скорости структуре – пунктир на рис. 3.9, а – можно получить характеристики, показанные на рис. 3.9, б пунктиром.

Проведем оценку параметрического регулирования скорости по введенным ранее показателям: 1) регулирование однозонное – вниз от основной скорости; 2) диапазон регулирования в замкнутой структуре (3...4):1; стабильность скорости удовлетворительная; 3) плавность высокая; 4) допустимая нагрузка резко снижается с уменьшением скорости, поскольку магнитный поток $\Phi \equiv U_1$ при $f_1 = \text{const}$; 5) рассмотренный способ регулирования неэффективен для использования в продолжительном режиме. Способ регулирования скорости изменением напряжения может в ряде случаев использоваться для кратковременного снижения скорости, а система преобразователь напряжения (ПН) – АД очень полезна и эффективна для снижения пусковых токов, для экономии энергии при недогрузках.

Кроме изложенных способов регулирования координат двигателей с короткозамкнутым ротором для этой цели используются иногда специальные двигатели с переключением обмоток статора, изменяющим число пар полюсов, т.е. в соответствии с (3.1) ступенчато регулирующие ω_0 .

Эти двигатели тяжелы, дороги, привод требует дополнительной переключающей аппаратуры и в связи с этим проигрывает современному частотно-регулируемому электроприводу.

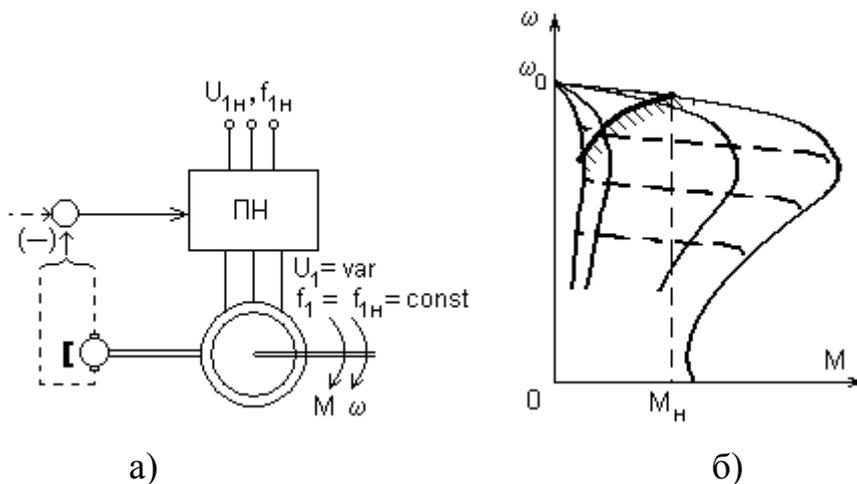


Рис. 3.9. Схема (а) и механические характеристики (б) асинхронного электропривода с параметрическим регулированием

3.5. Регулирование координат двигателя с фазным ротором

Дополнительные возможности управлять координатами АД появляются, если ротор выполнен не короткозамкнутым, а фазным, т.е. если его обмотка состоит из катушек, соединенных между собой и выведенных на кольца, по которым скользят щетки, связанные с внешними устройствами. Схематически трехфазная машина с фазным ротором показана на рис. 3.10, а.

К щеткам на кольцах в цепи ротора можно подключать как пассивные цепи, например, резисторы, так и активные, содержащие источники энергии; последняя возможность широко используется в электроприводах большой мощности (сотни – тысячи киловатт).

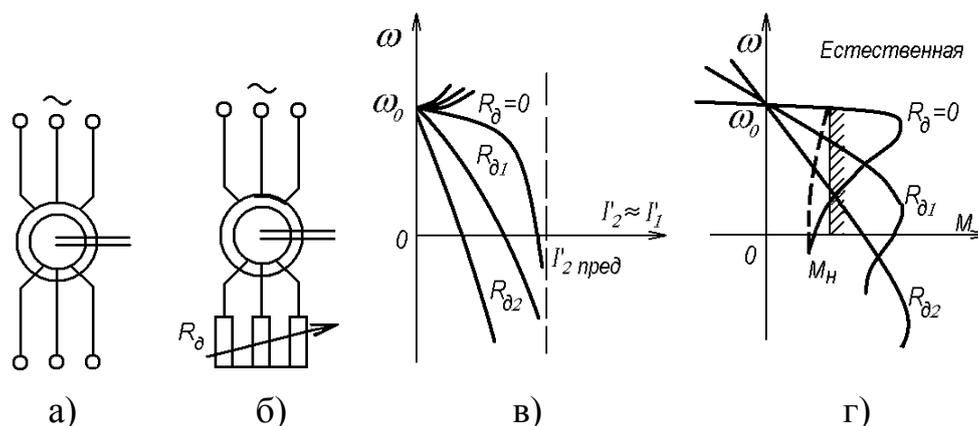


Рис. 3.10. АД с фазным ротором (а), схема (б) и характеристики (в) и (г) реостатного регулирования

Реостатное регулирование [5]. Как и в электроприводе постоянного тока это простейший способ регулирования: в каждую фазу ротора включают оди-

наковые резисторы с сопротивлением R_d – рис. 3.10, б. Тогда общее активное сопротивление фазы ротора составит $R_2 = R_p + R_d$, а искусственные характеристики приобретут вид, представленный на рис. 3.10, в, г: предельное значение тока ротора $I'_{2\text{пред}}$ и критический момент M_k в соответствии с (3.8) и (3.11) не изменяется, а s_k в соответствии с (3.12) растет пропорционально R_2 :

$$\frac{s_{к.и}}{s_{к.е}} = \frac{R'_p + R'_d}{R'_p} = \frac{R_p + R_d}{R_p}. \quad (3.17)$$

Последнее соотношение для критического скольжения, очевидно, выполняется и для скольжения при любом $M = \text{const}$, оно похоже на (3.16), а реостатные механические характеристики похожи на таковые для двигателя постоянного тока. Показатели реостатного регулирования скорости асинхронных двигателей с фазным ротором практически те же, что у электропривода постоянного тока: 1) регулирование однозонное - вниз от основной скорости; 2) диапазон регулирования (2...3):1, стабильность скорости низкая; 3) регулирование ступенчатое. С целью устранения этого недостатка иногда используются схемы, в которых роторный ток выпрямляется и сглаживается реактором, а резистор, включаемый за выпрямителем, шунтируется управляемым ключом – транзистором с управляемой скважностью, благодаря чему достигается плавность регулирования, а при использовании обратных связей формируются жесткие характеристики; 4) допустимая нагрузка $M_{\text{доп}} = M_n$, поскольку $\Phi \approx \Phi_n$ и при мало меняющемся $\cos\varphi_2$ $I_{2\text{доп}} \approx I_{2н}$; 5) с энергетической точки зрения реостатное регулирование в асинхронном электроприводе столь же неэффективно, как и в электроприводе постоянного тока – потери в роторной цепи при $M = \text{const}$ пропорциональны скольжению: $\Delta P_2 = P_1 s$.

Каскадные схемы. Включение в роторную цепь активных элементов, при $f_1 = \text{const}$ позволяет не потерять, а истратить полезно мощность скольжения $\Delta P_2 = P_1 s$, отдав её либо в сеть, либо на вал двигателя. Электроприводы такого типа называют каскадами или каскадными схемами.

Простейшая схема машино - вентильного каскада, показана на рис. 3.11, а. ЭДС машины постоянного тока E должна быть направлена встречно ЭДС роторного выпрямителя E_d , что достигается соответствующей полярностью машины. Тогда $I_d = (E_d - E)/R_3$, где R_3 – эквивалентное активное сопротивление контура выпрямитель – якорь машины.

Поскольку $E_d = kE_1 s$, а $E_1 \approx U_1 = \text{const}$, то до некоторого скольжения s' ,

определяемого уровнем ЭДС машины постоянного тока E' (рис. 3.11, б), ток $I_d = 0$, а следовательно, $I_2 = 0$, и машина $M1$ не развивает момента. При $s > s'$ ток начнет расти в соответствии с приведенным выше уравнением, вызывая увеличение момента (рис. 3.11, в).

Меняя ток возбуждения машины $M2$, а следовательно величину E , можно изменять скольжение, при котором начинается рост тока I_d , и, следовательно, регулировать скорость (рис. 3.11, в).

Иногда вместо двух дополнительных электрических машин, возвращающих энергию скольжения в сеть, используется один статический преобразователь-инвертор, ведомый сетью.

Энергия скольжения не обязательно должна возвращаться в сеть, есть каскады, в которых она отдается машиной $M2$ на вал главного асинхронного двигателя.

Каскадные схемы используются при очень больших мощностях (тысячи киловатт) и малых диапазонах регулирования – $(1,1 \dots 1,2):1$.

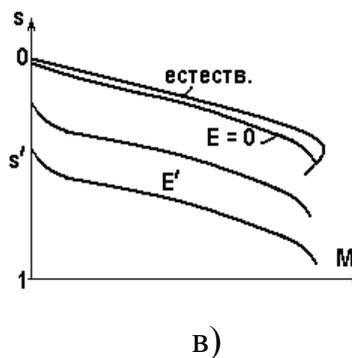
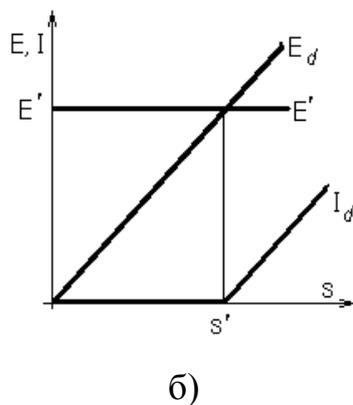
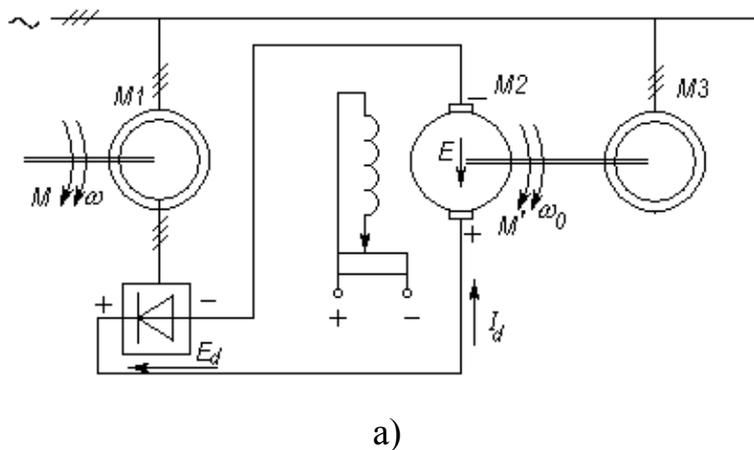


Рис. 3.11. Схема (а), характеристики (б) и (в) машино-вентильного каскада

3.6. Синхронный двигатель

Статор *синхронной машины* очень похож на статор асинхронной и используется для создания вращающегося магнитного поля. Ротор выполнен в виде явнополюсного или неявнополюсного электромагнита, питаемого через кольца и щетки от источника постоянного напряжения, или в виде конструкции из постоянных магнитов. Магнит увлекается полем, движется синхронно с ним, связанный "магнитной пружиной", отставая в двигательном режиме или опережая в тормозном на угол θ , зависящий от электромагнитного момента.

Фаза статора неявнополюсной синхронной машины ($p = 1$), если пренебречь активным сопротивлением обмотки, может быть представлена схемой замещения на рис. 3.12, а. Синусоидальное напряжение источника питания U уравновесится частично ЭДС E , наведенной в неподвижной обмотке вращающимся магнитом – ротором, и определит вместе с реактивным сопротивлением X_s ток I . Векторная диаграмма, отражающая указанные процессы, показана на рис. 3.12, б.

Для синхронной машины очень важен угол θ между \vec{U} и \vec{E} или, что то же, между осью поля статора и осью ротора – он, как отмечалось, характеризует степень растянутости "магнитной пружины".

Основные соотношения между электрическими и механическими величинами найдем, пользуясь формулой

$$P_{эм} \approx P = 3UI \cos \varphi = M \omega_0 \quad (3.18)$$

и векторной диаграммой на рис. 3.13, б, из которой следует, что

$$U \cos \varphi = E \cos(\varphi - \theta).$$

Из вспомогательного треугольника ABC определим

$$\cos(\varphi - \theta) = AB / AC = U \sin \theta / I X_s,$$

т.е. получим

$$U \cos \varphi = EU \frac{\sin \theta}{I X_s},$$

и окончательно найдем

$$M = \frac{P_{эм}}{\omega_0} = \frac{3UE}{\omega_0 X_s} \sin \theta = M_{\max} \sin \theta.$$

Таким образом, электромагнитный момент синхронной машины зависит от θ , причем для малых θ можно принять $M \approx c_{эм} \theta$.

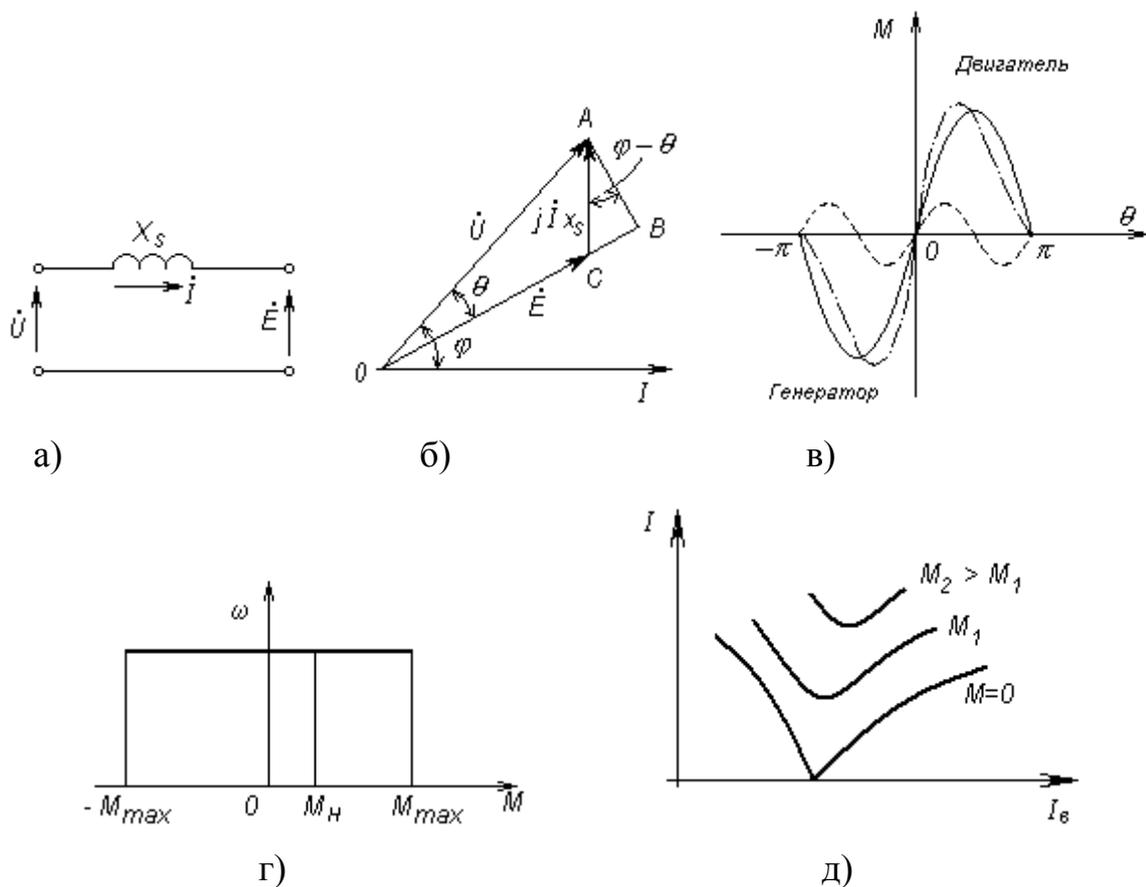


Рис. 3.12. Схема замещения (а), векторная диаграмма (б) и характеристики (в), (г) и (д) синхронной машины

Максимальный момент M_{max} при постоянном напряжении и частоте пропорционален ЭДС, т.е. в линейном приближении току возбуждения машины; для нормальных машин $M_{max}/M_H = 2 \dots 2,5$.

Если машина имеет явнополюсной ротор, то к моменту, определенному по (3.18), добавится еще одна реактивная составляющая, пропорциональная $\sin 2\theta$ (пунктир на рис. 3.12, в). Общий вид моментной характеристики синхронной машины показан на рис. 3.12, в штрих-пунктирной линией, механическая характеристика изображена на рис. 3.12, г.

Синхронная машина имеет характерную зависимость тока статора I от тока возбуждения I_B – так называемые V-образные кривые (рис. 3.12, д). Их форма связана с тем, что при изменении тока возбуждения меняются реактивная составляющая тока статора и её знак.

Электропривод с синхронной машиной до недавнего времени был неуправляемым, имел тяжелый пуск – для него на роторе размещалась специальная пусковая "беличья клетка" (асинхронный пуск). Появление современных

электронных преобразователей частоты радикально изменило эту ситуацию: появились маломощные частотно-управляемые электроприводы на основе синхронных машин с постоянными магнитами, электроприводы с синхронными реактивными машинами. Электронные коммутаторы, позволяющие бесконтактно переключать обмотки машины, стали основным элементом так называемых бесконтактных двигателей постоянного тока и т.п.

3.7. Сервоприводы

Областью применения *сервоприводов* является в основном станкостроение. Там эти приводы используются в качестве приводов подач. Однако часто сервоприводы используются и в других областях промышленности для точных перемещений.

В сегменте сервоприводов для станкостроительной отрасли сегодня представлена продукция компаний Fanuc, Siemens, Indramat, Fagor, Yaskawa, Heidenhine и др. Сегмент сервоприводов для широкого круга применений представлен продукцией компаний Indramat, Omron, Rockwell, Lenze, Baumüller, Siemens, Yaskawa, Mitsubishi Electric, Schneider Electric, Elau и др. В качестве примера рассмотрим более подробно сервоприводы серии W, выпускаемые компанией Omron [18]. Данные приводы выпускаются в диапазоне мощностей от 30 Вт до 15 кВт и рассчитаны на напряжения питания: 200...230 В (-15...+10%), 380...480 В (-15...+10%).

Система управления сервоприводом содержит три контура регулирования: контур тока/момента, контур скорости и контур положения (рис. 3.13).

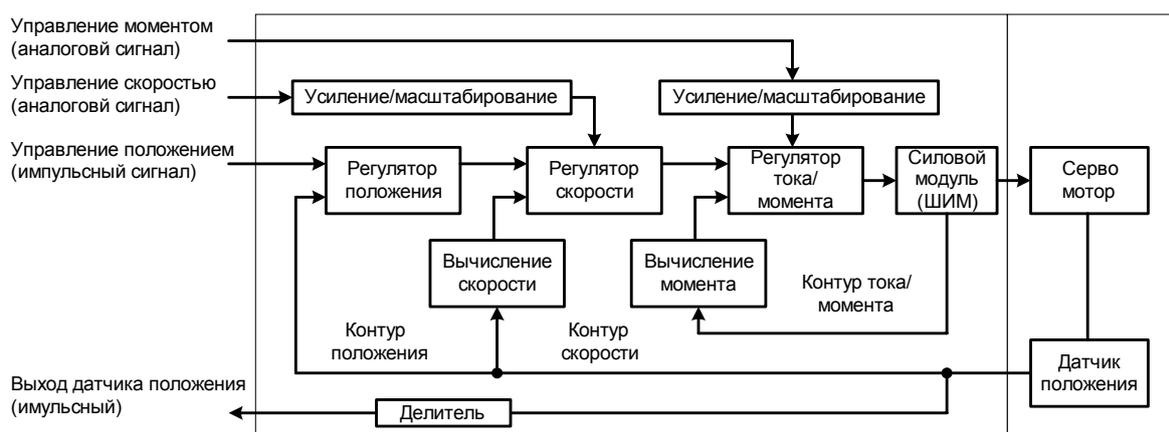


Рис. 3.13. Система управления сервоприводом

В зависимости от решаемой задачи, сигнал управления может быть подан в требуемый контур от внешней системы управления (ЧПУ, программируемого контроллера и т.п.). Управление сервоприводами от внешней системы может

осуществляться как через управляющие входы (дискретные, аналоговые, импульсные) сервопреобразователя, так и по сети. Управление по сети осуществляется через интерфейсные модули, дополнительно подключаемые к сервопреобразователю (предлагаются модули сетей DeviceNet, ProfiBus-DP, Mechatrolink 2). Имеются модули для организации распределенных систем с использованием последовательного канала обмена информацией RS-422/RS-485 и/или дискретных входов/выходов.

Система управления сервопреобразователя реализована на базе 32-разрядного RISC-процессора. Высокое быстродействие контуров регулирования (контур тока/момента – 62.5 мкс, контур скорости – 125 мкс, контур положения – 250 мкс) и гибкие возможности по их настройке позволяют использовать сервоприводы серии W в высокодинамичных системах с повышенными требованиями к точности регулирования (прецизионных станках высокой точности). Система "сервопреобразователь – двигатель" серии W обладает диапазоном регулирования скорости 1:5000 и способна выдерживать кратковременные перегрузки до 300% от номинального момента. Высокая точность позиционирования и регулирования скорости обеспечивается встроенным в серводвигатель импульсным датчиком положения с разрешающей способностью до 16384 импульсов/оборот. Серводвигатели могут снабжаться как инкрементальным так и абсолютным датчиком положения. В комплектацию сервоприводов входят также дополнительные системные компоненты: защитные автоматические выключатели, контакторы, ограничители перенапряжений, помехоподавляющие фильтры, устройства защитного отключения, дроссели для цепей переменного и постоянного тока, тормозные резисторы, пульта управления, кабели и разъемы для системы "сервопреобразователь – двигатель" и для подключения периферийных управляющих устройств. Схема подключения силовых цепей и цепей управления сервопреобразователя, рассчитанного на питание от трехфазного напряжения 380...480 В, приведена на рис. 3.14.

Двигатели с сервопреобразователями серии W, имеют различные варианты исполнения по: номинальной скорости вращения – 1000, 1500, 3000, 6000 мин⁻¹; наличию или отсутствию встроенного электромагнитного тормоза; конструктивному исполнению корпуса – плоские либо цилиндрические; степени защиты корпуса – IP55 или IP67; способу исполнения вала – со шпонкой или без шпонки; типу датчика положения ротора – инкрементальный или абсолютный.

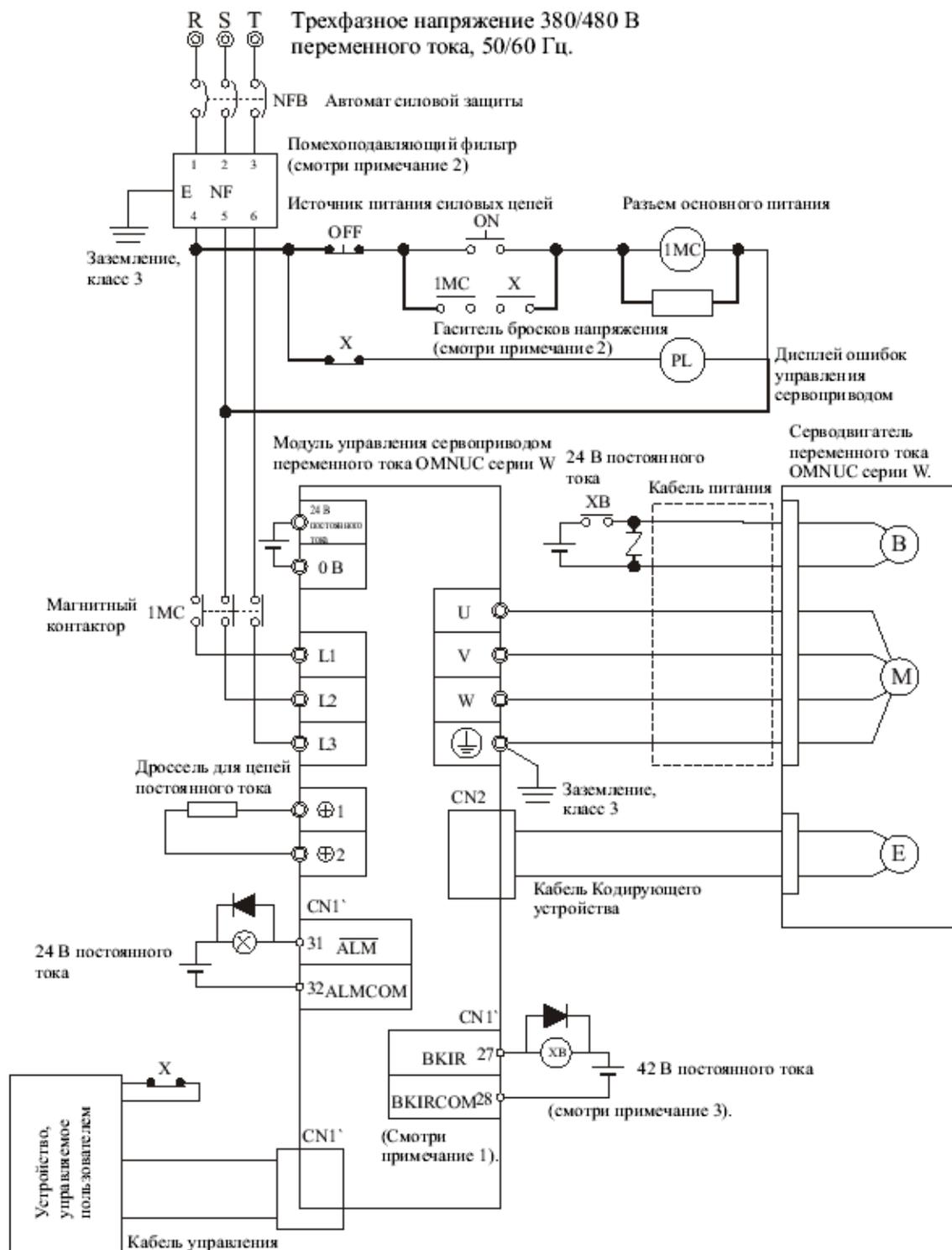


Рис. 3.14. Схема подключения силовых цепей и цепей управления сервопреобразователя

3.8. Высоковольтные электроприводы

Области применения высоковольтных приводов весьма разнообразны: в насосных станциях, в системах теплоснабжения и канализационных сооружениях: насосы для подачи и распределения питьевой воды, насосы для циркуля-

ции теплоносителя, шламовые насосы; в нефтяной и газовой промышленности: насосы и компрессоры; в машиностроении: вентиляторы, насосы, приводы с постоянным моментом нагрузки; в пищевой промышленности: приводы центрифуг (например, в производстве сахара), насосы, тестомесильные машины, миксеры, мельницы, экструдеры (червячные прессы); в судостроении: приводы главных и вспомогательных гребных винтов, приводы подруливающих устройств; в цементной промышленности: ленточные транспортеры, воздуходувки и дробилки; в карьерных выработках: ленточные транспортеры, вибраторы, экскаваторы, дробилки; в производстве проволоки и при тонком вальцевании: приводы проволочно-волочильных станов; в силовых установках предприятий энергоснабжения: насосы, вентиляторы, угледробилки; в бумажной промышленности: дисковые мельницы, насосы; в подземных горных выработках: транспортерные машины, рудничные вентиляторы.

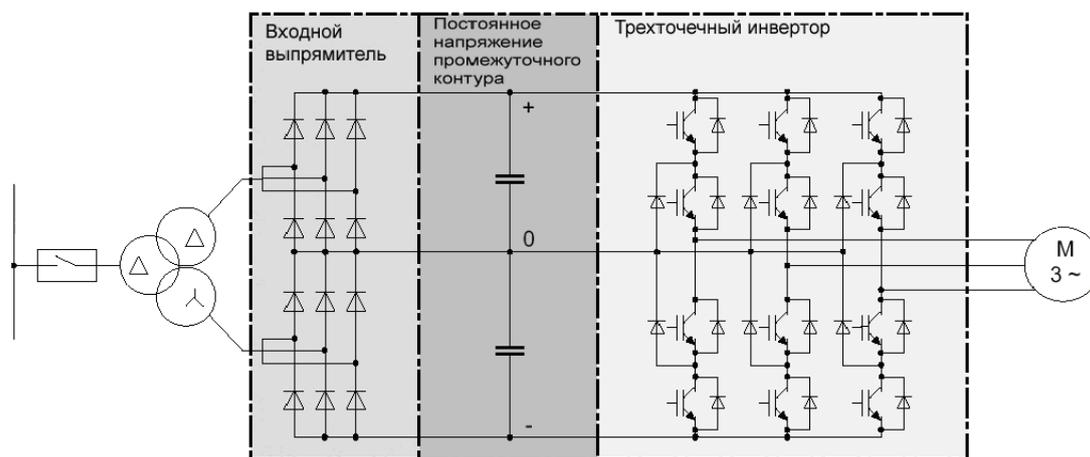


Рис. 3.15. Схема высоковольтного ПЧ Simover MV фирмы Siemens

В отечественной промышленности наибольшее распространение получили асинхронные и синхронные электродвигатели с номинальным напряжением питания 6 кВ и 10 кВ. Программа поставок зарубежных производителей высоковольтных электродвигателей стандартизована на следующие напряжения: 2.4; 3.3; 4.16; 4.8; 6.0; 6.6; 7.2 кВ.

На рынке регулируемых высоковольтных электроприводов представлены несколько типовых схем реализации системы ПЧ-АД (6.0 кВ). Фирма Siemens предлагает высоковольтные ПЧ Simover MV, выполненные по схеме "12-пульсный выпрямитель – промежуточное звено постоянного тока – 3-х точечный инвертор напряжения" (рис. 3.15) [21]. Выходной инвертор напряжения

реализован на базе высоковольтных IGBT-транзисторов. Система состоит из следующих компонентов: силовой выключатель среднего напряжения, управляемый от ПЧ; входной согласующий трехобмоточный трансформатор с вторичными обмотками, сдвинутыми друг относительно друга на угол 30 электрических градусов; 12-пульсный неуправляемый выпрямитель, состоящий из двух диодных 6-пульсных мостов; звено постоянного напряжения со сглаживающими конденсаторами и измерительным преобразователем постоянного напряжения; трехточечный инвертор с измерительными преобразователями выходного тока и напряжения инвертора; высоковольтный АД. В моделях с выходным напряжением до 4.16 кВ возможно непосредственное подключение выходного инвертора к двигателю.

Для управления частотой вращения двигателей класса 6.0 кВ и 6.6 кВ с квадратичным моментом нагрузки на валу дополнительно используется повышающий выходной синусоидальный фильтр. Преобразователи Simovert MV выпускаются в диапазоне мощностей от 660 до 7200 кВА. Возможна их комплектация 24-пульсным блоком входного выпрямителя. Предлагаются варианты исполнения с воздушным или водяным охлаждением. Цифровая система управления преобразователя включает алгоритм векторного управления, позволяющий достичь устойчивого регулирования выходной частоты в диапазоне 1:10. В стандартном исполнении максимальная выходная частота преобразователя составляет 100 Гц.

Широкое распространение получили высоковольтные ПЧ с инверторами напряжения на базе запираемых тиристоров (GTO, IGCT). Это преобразователи фирм АВВ, Mitsubishi Electric, Allen-Bradley, Alstom.

Корпорация Mitsubishi Electric предлагает схему построения высоковольтного ПЧ, показанного на рис. 3.16 [16]. В настоящее время такая схема является наиболее современной. Схема состоит из входного трансформатора, многоуровневого инвертора и системы управления. Входной трансформатор служит для преобразования входного напряжения (3 фазы, 6 кВ) в выходное напряжение (18 фаз, 578 В), которое после выпрямления питает ячейки инвертирования.

Данная серия ПЧ обладает следующими основными свойствами: 1) высокий КПД ($\approx 98\%$) и высокий коэффициент мощности ($\approx 95\%$); 2) регулирование выходного напряжения и частоты; 3) управление преобразователем от пульта

управления, внешними командами, с помощью ПК и контроллера; 4) возможность подключения к общепромышленным сетям со стандартными протоколами (DeviceNet, ProfibusDP, ModbusPlus); 5) большой ряд мощностей преобразователей; 6) использование IGBT-ключей в силовой цепи ПЧ; 7) способ управления: многоуровневая ШИМ-модуляция; 8) ПЧ данной конструкции не требуют дополнительных сетевых фильтров для защиты сети от помех генерируемых преобразователем.

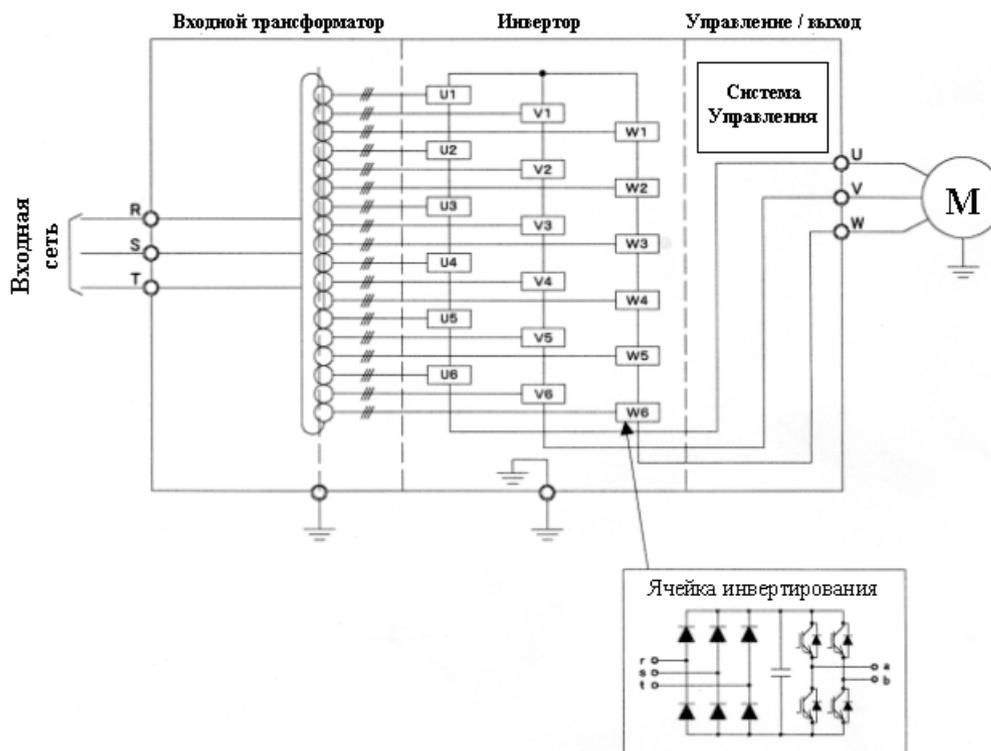


Рис. 3.16. Схема высоковольтного ПЧ корпорации Mitsubishi Electric

Существенным недостатком высоковольтных электроприводов, построенных по рассмотренным схемам, является их высокая стоимость. Снижения стоимости можно достичь применив так называемую "двухтрансформаторную" схему.

3.9. Мотор-редукторы

Мотор-редуктор состоит из электродвигателя и понижающего редуктора, образующих единую конструкцию. Редуктор соответствующего типа выбирается с учетом монтажного пространства, способа крепления и соединения с приводимым механизмом. Мотор-редукторы производятся российскими и зарубежными компаниями. Наиболее крупные из них – SEW-Eurodrive, Flender, Sumitomo, Varvel, Motovario и др. Рассмотрим основные типы выпускаемых мотор-редукторов, принципы их расчета и выбора на примере продукции компа-

нии SEW-Eurodrive [8].

Компанией выпускаются цилиндрические, плоские цилиндрические, конические редукторы в стандартном исполнении и со сниженным люфтом, а также червячные редукторы, редукторы Spiroplan® (угловые одноступенчатые мотор-редукторы, которые отличаются от червячных редукторов комбинацией используемых в зацеплении материалов, особым профилем зубьев и алюминиевым корпусом), планетарные и низколюфтовые планетарные редукторы. Типоразмер редуктора зависит от вращающего момента на его выходном валу. Величина этого момента M_a [Н·м] рассчитывается по номинальной мощности двигателя P_d [кВт] и частоте вращения на выходе редуктора n_a [мин⁻¹].

$$M_a = P_d \cdot \eta \cdot \frac{9550}{n_a},$$

где η – КПД редуктора.

Мотор-редукторы SEW, представленные в соответствующем каталоге, описываются либо через отдаваемую мощность, либо через создаваемый вращающий момент при заданной частоте вращения выходного вала. При этом дополнительным параметром является эксплуатационный коэффициент. Типичные потери мощности в понижающих редукторах – это потери на трение в зубчатом зацеплении, в подшипниках и манжетах, а также потери от перемешивания масла при смазке погружением. Повышенные потери характерны для редукторов Spiroplan® и червячных редукторов. Чем выше частота вращения на входе редуктора, тем больше и потери мощности. В цилиндрических, плоских цилиндрических, конических и планетарных редукторах КПД зубчатой передачи различных ступеней составляет 97...98 %. В редукторах Spiroplan® и червячных редукторах различного исполнения этот КПД может составлять от 30 до 90 %. В период обкатки КПД редукторов Spiroplan® и червячных редукторов может снижаться до 15 %. Если КПД менее 50 %, то редуктор подвержен эффекту статического самоторможения. Такие приводы можно применять только в том случае, если нагрузка не создает обратного момента, или он настолько мал, что не может вызвать повреждения редуктора.

Редукторы для сервоприводов. Серводвигатель с редуктором – это комбинация из синхронного или асинхронного серводвигателя и одного из следующих редукторов: редукторы в стандартном исполнении: цилиндрические (R), плоские цилиндрические (F), конические (K), червячные (S); редукторы со

сниженным люфтом: цилиндрические (R), плоские цилиндрические (F), конические (K); низколюфтовые планетарные (PS).

Для выбора параметров серводвигателей с редуктором необходимы следующие данные: вращающий момент на выходном валу $M_{\text{амакс}}$; частота вращения выходного вала $n_{\text{амакс}}$; внешняя радиальная/осевая нагрузка FRa/FAa ; угловой люфт $\alpha < 1', 3', 5', 6', 10', > 10'$; монтажная позиция М1...М6; температура окружающей среды; точный цикл нагрузки, т. е. все необходимые данные по вращающему моменту, времени работы и внешнему моменту инерции (при разгоне и торможении). Дополнительным критерием выбора типоразмера редуктора является величина предполагаемых внешних радиальных и осевых нагрузок. Величина внешних радиальных нагрузок ограничивается прочностью вала и несущей способностью подшипников. Указанные в каталоге максимально допустимые значения всегда относятся к случаю приложения усилия к середине вала в неблагоприятном направлении. Если усилие прилагается не в середине вала, то допустимые значения внешних радиальных нагрузок могут быть больше или меньше. Чем ближе к выступу вала находится точка приложения усилия, тем больше величина допустимых внешних радиальных нагрузок, и наоборот. Соответствующие формулы пересчета приводятся в каталоге [8].

Вопросы для самопроверки

1. Что такое схема замещения АД?
2. В каких энергетических режимах может работать АД?
3. Какие достоинства и недостатки имеет способ регулирования координат АД с помощью резисторов?
4. Какие возможности по управлению АД обеспечивает регулирование напряжения на его статоре?
5. За счет чего в частотно-управляемом асинхронном ЭП производится регулирование подводимого к АД напряжения?
6. Назовите виды каскадных схем и поясните принцип регулирования скорости АД в этих схемах.
7. Какими способами осуществляется торможение АД в его основной схеме включения?
8. Что такое динамическое торможение АД?
9. В чем основная особенность переходных процессов в асинхронном ЭП?
10. Каковы области использования однофазных АД?

11. В чем состоят основные особенности работы однофазного АД?
12. Что такое линейный АД и каковы рациональные области его применения?
13. Какие достоинства присущи СД?
14. Что такое угловая характеристика СД?
15. Как включается обмотка возбуждения СД при пуске?
16. Что такое U-образные характеристики СД?

Глава 4. Управляемые преобразователи напряжения и частоты

4.1. Управляемые преобразователи и их компоненты для низковольтных систем электроприводов переменного тока

Преобразователи переменного тока выпускаются современной электротехнической промышленностью в двух основных конструктивных исполнениях: в виде ПЧ, предназначенных для питания от сети переменного трехфазного напряжения и в виде автономных инверторов (АИ) напряжения, питающихся от сети постоянного напряжения. ПЧ включают в себя блок силового выпрямителя, звено постоянного тока и АИ напряжения. Как правило, ПЧ применяются в системах однодвигательного привода. На базе АИ напряжения питающихся от общего блока выпрямления (выпрямления/рекуперации) реализуются экономически эффективные системы многодвигательного привода.

ПЧ и АИ напряжения могут использоваться для управления, как стандартными АД, так и синхронными двигателями. Область применения регулируемых электроприводов переменного тока очень широка. Для удобства рассмотрения их функциональных и конструктивных особенностей целесообразно выделить характерные сегменты рынка приводной техники (табл. 4.1).

В зависимости от области применения приводов переменного тока фирмы-производители преобразовательной техники предлагают специализированные серии приводов. Для решения задач автоматизации простых производственных механизмов, типовых объектов городского, жилищно-коммунального хозяйства применяются так называемые "*стандартные*" приводы. В связи с острой конкуренцией в секторе стандартных приводов на рынке сегодня в основном представлена продукция крупных электротехнических корпораций, которые смогли снизить стоимость своей продукции за счет больших объемов производства и организованного международного рынка сбыта. Такими производителями являются ABB, Siemens, Vacon, Danfoss, SEW Eurodrive, Yaskawa, Mitsubishi, Fuji, Rockwell, Schneider-Toshiba, Omron, Lenze.

В качестве примера стандартных электроприводов переменного тока можно привести серии Micromaster, Sinamics G110 фирмы Siemens; Altivar 11, Altivar 28, Altivar 38, Altivar 58 фирмы Schneider Electric; FR-S 500, FR-E 500 фирмы Mitsubishi Electric, CIMR-77AZ, CIMR-E7Z фирмы Yaskawa-Omron. Принципы выбора и возможности построения систем автоматизации на базе стандартных преобразователей частоты рассмотрим на примере серии Micromaster.

Таблица 4.1

	Приводы общего назначения (стандартные)	Высокодинамичные приводы	Высокодинамичные взаимосвязанные приводы	Сервоприводы
Тип управления	U/f – управление	Векторное	Векторное	Серво
Точность	Низкая	Средняя	Высокая	Высокая
Динамика	Низкая	Средняя	Средняя	Высокая
Двигатель	Стандартный асинхронный	Стандартный асинхронный	Стандартный асинхронный	Синхронный и асинхронный серводвигатели
Технологические функции	С предварительно заданной конфигурацией (ПИД-регулятор)	С предварительно заданной конфигурацией (ПИД-регулятор)	С предварительно заданной конфигурацией, программируемые функции управления механическими переменными (синхронизация скоростей, распределение нагрузки, управление натяжением)	С предварительно заданной конфигурацией, программируемые функции управления перемещением (синхронизация положений, угловых перемещений)
Способ обмена данными	Аналоговые и дискретные сигналы	Аналоговые и дискретные сигналы, промышленные сети	Промышленные сети	Промышленные сети, операционные системы реального времени
Способ управления и квалификация оператора	Местное управление приводом, низкоквалифицированный персонал	Местное управление приводом, компьютерные средства НМІ, высококвалифицированный персонал	Компьютерные средства НМІ, высококвалифицированный персонал	Компьютерные средства НМІ, высококвалифицированный персонал
Область применения	Насосы, вентиляторы, компрессоры и др. простые механизмы с переменным моментом нагрузки	Центрифуги, подъемно-транспортные механизмы, экструдеры, мешалки и др. механизмы с постоянным моментом нагрузки	Многодвигательные приводы бумаго- и картоноделательных производств, прокатных станков, фольгопрокатных машин, производств полимерных пленок, синтетического волокна, приводы портовых кранов и др.	Станочные приводы, в т.ч. с ЧПУ, системы позиционирования в упаковочных, печатных агрегатах, системы перемещения, ткацкие станки и др.

На сегодня фирмой Siemens выпускаются несколько моделей приводов Micromaster – Micromaster 410, Micromaster 420, Micromaster 430, Micromaster 440, Micromaster 411 [15]. Приводы ММ410 предназначены для регулирования скорости вращения стандартных трехфазных асинхронных двигателей при наличии только однофазной питающей сети. Основная область применения – на-

сосы, вентиляторы, приводы автоматических дверей, приводы рекламных щитов. Модель ММ420 предназначена для регулирования скорости вращения простых механизмов – конвейеров, упаковочных машин, насосов, вентиляторов. ММ430 используется для работы с приводами насосов и вентиляторов. Программное обеспечение преобразователя оптимизировано для решения типовых задач автоматизации в данной области. Благодаря наличию векторного управления (с/без обратной связи по скорости) преобразователи ММ440 могут использоваться для решения задач, требующих применения приводов с большим диапазоном регулирования и повышенной динамикой. Основная область применения: в оборудовании текстильной и пищевой промышленности, конвейеры, экструдеры и т.д. Для построения децентрализованной системы электропривода, где предъявляются повышенные требования к защите электрооборудования от пыли и влаги, используются приводы Micromaster 411. Данная модель предназначена для монтажа непосредственно на клеммную коробку асинхронного двигателя и имеет степень защиты корпуса IP66. ММ411 применяется для решения широкого круга прикладных задач: от автоматизации отдельно стоящих насосов и вентиляторов до построения систем многодвигательных приводов транспортеров, конвейеров и т.д. Приводы ММ411 выпускаются в диапазоне мощностей от 0.37 кВт до 3.0 кВт и рассчитаны на напряжение питания 380 – 480 В +/- 10%. Функциональные возможности приводов ММ411 аналогичны приводам ММ420.

Приводы, относящиеся к классу "*высокодинамичных*", согласно табл. 4.1 могут использоваться для решения достаточно сложных задач автоматизации производственных механизмов и технологических комплексов. Как правило, такие приводы характеризуются гибко программируемой системой управления, могут оснащаться датчиками обратной связи по скорости двигателя, имеют в стандартной комплектации широкий набор дискретных и аналоговых входов/выходов, позволяют расширять функции за счет дополнительных плат (карт). Сравнительные характеристики приводов отдельных производителей представлены в табл. 4.2.

В сегменте *высокодинамичных* и *взаимосвязанных* электроприводов основными поставщиками являются компании ABB, Siemens, Vacon, Yaskawa, SEW Eurodrive, KEB, Alstom, Rockwell, Lenze. Значительную долю рынка в данном сегменте на сегодня занимает фирма Siemens. Продукция Siemens представлена семейством преобразователей частоты Simovert Master Drives Vector

	OMRON-YASKAWA F7Z	MITSUBISHI FR-V 520/540	SCHNEIDER ALTIVAR 58	SIEMENS MICROMASTER 440
Диапазон мощностей	0,55 кВт – 110 кВт 230 В 3АС 0,55 кВт – 300 кВт 400 В 3АС	1,5 кВт – 55 кВт 230 В 3АС 1,5 кВт – 55 кВт 400 В 3АС	0,37 кВт – 5,5 кВт 230 В 1АС 1,5 кВт – 7,5 кВт 230 В 3АС 0,75 кВт – 55 кВт 400 В 3АС	0,12 кВт – 3 кВт 230 В 1АС 0,12 кВт – 45 кВт 230 В 3АС 0,37 кВт – 200 кВт 400 В 3АС 0,75 кВт – 75 кВт 600 В 3АС
Диапазон регулирования скорости	Без датчика 1:100 С импульсным датчиком: 1:1000	С импульсным датчиком: 1:1000	Без датчика: 1:100 С импульсным датчиком: 1:1000	Без датчика: 1:50 С импульсным датчиком: 1:1000
Способ регулирования	Вольт-частотный: (U/f), произвольная настройка. Векторный с/без датчика скорости, управление моментом	Вольт-частотный: линейный (U/f), квадратичный (U/f ²), произвольная настройка, режим «мягкой» ШИМ. Векторный с/без датчика скорости, управление моментом	Вольт-частотный: линейный (U/f), квадратичный (U/f ²), режим энергосбережения, Векторный с/без датчика скорости	Вольт-частотный: линейный (U/f), квадратичный (U/f ²), прямое управление потоком FCC, произвольная настройка Векторный с/без датчика скорости, управление моментом
Карты расширения	Карта цифрового задания скорости 16 bit; карта аналогового задания скорости 14 bit; карта аналогового монитора 11 bit; карта цифровых выходов 6 транзисторных, 2 релейных; карта подключения датчиков положения (операционный усилитель/открытый коллектор) Сетевые карты: Profibus-DP, DeviceNet, CFN-open, LONWORKS, PLC-options with DeviceNet.	Карта входов (6 DI, АО (16bit), PTC); Карта транз. выходов (3 DO); Карта выходов (7 DO, 1АО); Карта релейных выходов (3DO); Карта позиционирования с импульсным входом; Карта цифрового задания частоты (16bit); Карта цифрового задания частоты (12bit). Сетевые карты: SSCNET, Ethernet, Profibus-DP, DeviceNet, CC-Link, карта связи с ПК	Модуль подключения импульсного датчика скорости / тахогенератора; Карта управления насосами (до 5 насосов); Карта переключения двигателей; Карта переключения параметров, Карта простого позиционирования. Сетевые карты: Fipio; Modbus Plus, Uni-Telway, Modbus ASCII, Modbus RTU/Jbus; Interbus-S; AS-i; Profibus-DP; Ethernet; CANopen, DeviceNet; METASYS, модуль связи с ПК	Модуль подключения импульсного датчика скорости. Сетевые карты: Profibus-DP, DeviceNet, CANopen, модуль связи с ПК

Simovert VC – преобразователь частоты с промежуточным контуром постоянного напряжения номинальной мощностью от 0.55 до 2300кВт, предназначен для управления асинхронными электродвигателями при высоких требованиях к точности и динамике регулирования [22].

Общие технические данные: температура окружающей среды 0...+40°C, (хранения –25...+70°C); входная частота 50/60 Гц ±6%; выходная частота 0...500 Гц ±0,001 Гц; точность поддержания скорости (VC) 0,001%; точность позиционирования (MC) до 16×10⁶ поз/оборот; частота модуляции 1,7...16 кГц; перегрузочная способность 30с: 1,6×I_н, 0.25с: 3×I_н (только MC Compact Plus); коэффициент мощности ном. ≥0,98 (–0,8...0,8 с блоком питания AFE); КПД 0,96...0,98.

Особенности ПЧ Simovert. Модульное исполнение приводов позволяет значительно уменьшить потребность в запчастях, повысить ремонтпригодность, сократить время простоев при аварийных ситуациях. Предлагаются дополнительные модули: рекуперативного и динамического торможения, конденсаторные, входные и выходные фильтры, дроссели и др. Микропроцессорная система управления преобразователя выполнена на базе универсальной платы CUVC, пригодной для ПЧ любой мощности. Стандартное программное обеспечение платы CUVC позволяет реализовывать системы на основе алгоритмов скалярного и векторного управления. На базовой плате имеются входы для подключения импульсного датчика скорости (энкодера) с интерфейсом HTL, для других типов датчиков (TTL, 1Vss, ENDat, резольверов) существуют стандартные платы расширения. Также есть возможность увеличить количество дискретных и аналоговых входов-выходов. Преобразователи имеют широкий набор встроенных специальных и технологических функций, позволяющих адаптировать систему управления привода для решения конкретных прикладных задач. В стандартном исполнении ПЧ имеет адаптивный ПИ-регулятор скорости, свободный ПИД-регулятор, математические и логические блоки, программируемые нелинейности, интегрирующие и дифференцирующие блоки, программные кулачковые переключатели. Дополнительно в ПЧ могут быть установлены специальные технологические платы (T100, T300, T400), позволяющие управлять летучими ножницами, грейферным краном, моталками, многодвигательным приводом и т.п. В стандартном исполнении также реализован полный набор специальных функций: подхват на ходу, автоматическое повторное включение и т.д.

Преобразователи частоты разработаны с учетом простоты интеграции в системы автоматического управления, они имеют широкие коммуникационные возможности. Большое количество встроенных функций позволяет строить распределенные системы управления, снижая требования к системе верхнего уровня. Поддерживаются сетевые протоколы Profibus-DP, CAN, Simolink, USS.

Простота выбора оборудования и настройки приводов обеспечивается специальными программами, облегчающими выбор оборудования (PFAD+), интеграцию Simovert в контроллерные системы управления (DriveES), настройку привода (Simovis). Например, при настройке можно непосредственно видеть и редактировать структурную схему системы управления. Благодаря применению специальных методов автоматической настройки и идентификации параметров двигателя появляется возможность добиться качественной настройки за короткое время и без применения сложной и дорогостоящей аппаратуры. Программа Simovis позволяет снимать осциллограммы переходных процессов.

К основным областям применения ПЧ Simovert относятся установки, где от привода требуется точное позиционирование, точное поддержание скорости, согласованное движение нескольких механизмов или специализированные технологические функции. ПЧ Simovert позволяет достигать высокой производительности и точной синхронизации перемещений. Преобразователи выпускаются в двух исполнениях: с воздушным и с водяным охлаждением. Тепло, выделяемое преобразователями можно отводить из шкафа или места, где установлены преобразователи, без воздухообмена. Преобразователи с водяным охлаждением, оснащенные платой управления CUVC, можно использовать в следующих применениях: экструдеры, прессы, волочильные машины, стеклотрубоукладывающие машины, приводы гребных винтов судов, цементные мельницы, текстильное оборудование. Для дальнейшего ознакомления с приводами Simovert рассмотрим основные силовые модули, из которых комплектуются системы индивидуальных и многодвигательных приводов.

Модуль блока выпрямления снабжает модули инверторов выпрямленным напряжением при работе привода в двигательном режиме рис. 4.1. Диапазон питающего напряжения для блока выпрямления от 380 В до 690 В АС 50/60 Гц. Блоки от 380 В АС 50/60 Гц до 480 В АС 50/60 Гц можно питать напряжением от 200 В АС 50/60 Гц до 230 В АС 50/60 Гц с таким же номинальным током. Их мощность понижается пропорционально питающему напряжению. Блоки выпрямления выпускаются на диапазон мощностей от 15 до 1500 кВт – для типо-

размеров В, С и Е (15 – 400 кВт), как аналоговые блоки, не имеющие последовательного интерфейса, т.е. которые не могут управляться по сети Profibus. Блоки размеров Н и К (400 – 1500 кВт) имеют цифровое управление и в них можно добавлять разные опциональные платы. Для электрической развязки блока выпрямления от питающей сети применяют главный контактор *КМ* и/или автоматический выключатель (разъединитель) *QS* со стороны сети. В случае неисправности главный контактор также обеспечивает аварийное отключение силового питания блока выпрямления. Эффективное отделение от питающей сети и ограничение помех, идущих в сеть, достигается также применением входного дросселя *L* и фильтра *Z*.

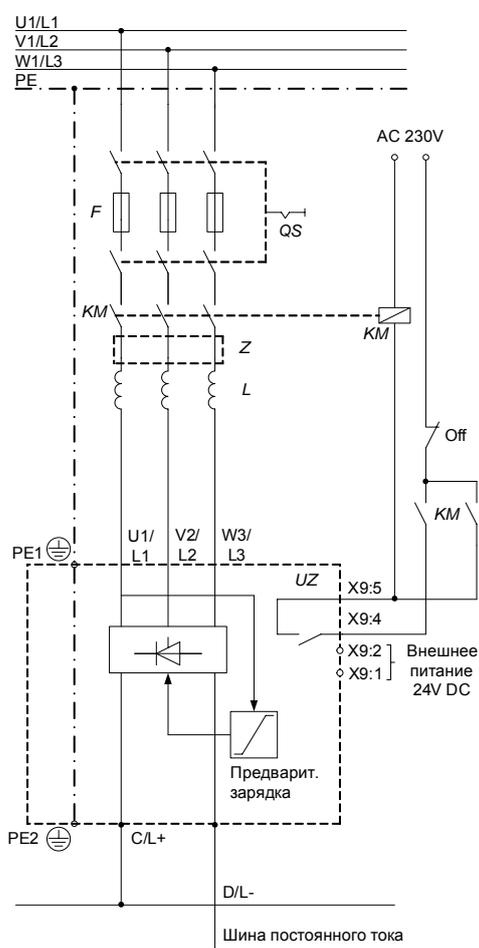


Рис. 4.1. Модуль блока выпрямления

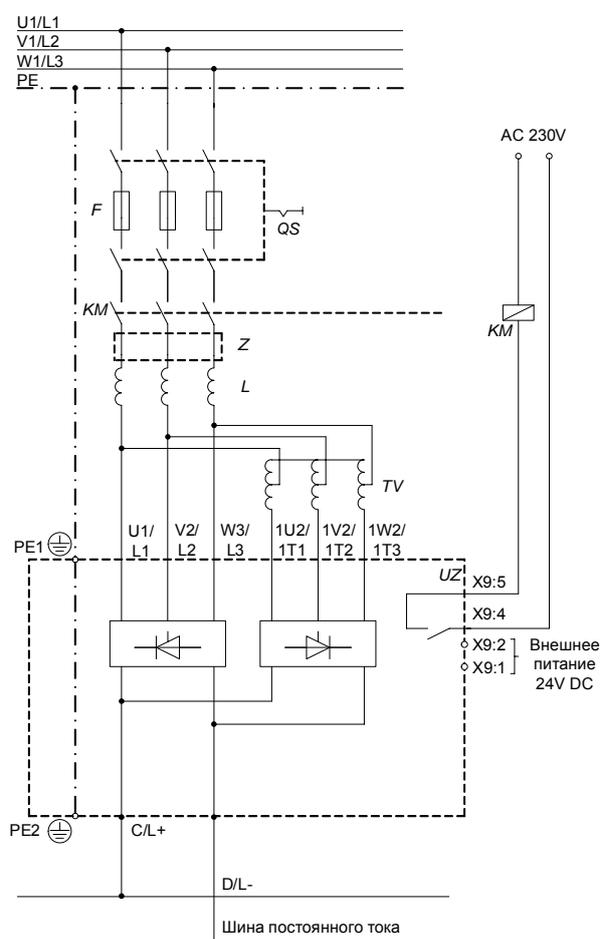


Рис. 4.2. Встречно-параллельным включением двух независимых выпрямительных мостов

Модуль блока выпрямления/рекуперации обеспечивает работу привода в четырехквadrантном режиме, т.е. позволяет питать инверторы в двигательном режиме и рекуперировать избыточную энергию в сеть со звена постоянного то-

ка. Это достигается встречно-параллельным включением двух независимых выпрямительных мостов (рис. 4.2). Рекуперативный мост подключается к сети через согласующий автотрансформатор *TV*. Согласующий автотрансформатор обеспечивает максимальный момент двигателя на полной скорости при рекуперации. При переходе с двигательного режима в режим рекуперации, задержка времени составляет 15 мс. Диапазон питающего напряжения блока от 380 В до 690 В АС, 50/60 Гц. Диапазон мощности от 7,5 кВт до 1500 кВт для размеров С, Е, Н и К.

Для электрической изоляции блока от питающей сети, на вход ставят главный контактор *KM* или/и автоматический выключатель (разъединитель) *QS*. Блок включается и отключается с помощью главного контактора который, в случае аварии, может также защитить блок выпрямления/рекуперации. Необходимо чтобы управление главным контактором было выполнено через дискретные выходы платы управления блока. Необходимо использовать устройство безопасного останова, для того чтобы управляющая электроника получала команду на останов до момента отключения основного контактора. Устройство безопасного останова отключит основной контактор по прошествии выдержки времени. Плата управления блока выпрямления/рекуперации размещается в корзине электроники. Таким образом, блок выпрямления/рекуперации может решать технологические задачи с помощью технологических плат и связываться с программируемым контроллером по сети Profibus-DP. Функции замкнутого и разомкнутого управления полностью обеспечиваются микропроцессорной системой блока: программное управление и управление оператором с местного пульта РМУ; блок драйверов и командный уровень; регуляторы напряжения и тока; функции мониторинга и обработки величин в реальном времени; связь с помощью двунаправленного порта RAM и интерфейса SCom1.

Основным компонентом *блока активного выпрямителя (AFE-инвертора)* является преобразователь постоянного напряжения с платой управления CUSA. Преобразователь преобразует 3-фазное переменное напряжение в постоянное напряжение регулируемое по величине. Схемное решение блока обеспечивает поддержание практически неизменного напряжения звена постоянного тока независимо от напряжения питающей сети даже в процессе рекуперации. Быстродействующий векторный регулятор AFE-инвертора синхронизирован с направлением вектора питающей сети и подчинен регулятору напряжения звена постоянного тока. Этот векторный регулятор выдает в сеть практически синусои-

дальний ток, что, с помощью фильтра, помогает свести на нет гармоники, генерируемые преобразователем в сеть. Векторный регулятор также позволяет регулировать $\cos\phi$, в результате чего АFE-инвертор может работать как компенсатор реактивной мощности. Плата VSB (плата датчика напряжения) работает как датчик угла питающего напряжения. АFE-инверторы, из-за особенностей схемы подключения, не могут функционировать автономно. Для нормальной работы им требуется АFE-блок подключения питания, который включает в себя сетевые фильтры $Z1$, $Z2$, дроссель L , сетевые предохранители F с разъединителем QS , источники питания 230 В АС и 24 В DC, а также плату VSB, блок предварительной зарядки R и главный контактор KM . АFE-инвертор обладает способностью передавать энергию в сеть без помощи автотрансформатора. Переход от двигательного режима к генераторному происходит почти мгновенно, за один период ШИМ инвертора. Точно регулируемое напряжение на звене постоянного тока гарантирует качественное питание инвертора независимо от напряжения питающей сети. С помощью АFE-инвертора высшие гармоники и коммутационные провалы снижены до незначительного уровня.

АFE-инвертор позволяет управлять приводом независимо от свойств питающей сети, это возможно благодаря активной защите от пропадания напряжения, перенапряжений, колебаний напряжения и частоты при помощи векторного регулятора и безынерционной системы мониторинга. АFE-инвертор может питаться от 3-фазной сети независимо от наличия в ней нейтрального провода. Диапазон питающего напряжения: $3 \times 380 \text{ В} -20\%$ до $460 \text{ В} +5\%$; $3 \times 500 \text{ В} -20\%$ до $575 \text{ В} +5\%$; $3 \times 660 \text{ В} -0\%$ до $690 \text{ В} +5\%$.

Векторный регулятор с датчиком напряжения позволяет работать с системами электропитания, свойства которых меняются или трудноопределимы.

Для увеличения суммарной мощности АFE-инверторы могут подключаться параллельно. Наибольший блок шкафного исполнения имеет номинальную мощность 1200 кВт, 690 В. Наибольший блок встраиваемого исполнения имеет номинальную мощность 200 кВт, 690 В. Наибольший блок компактного исполнения имеет номинальную мощность 37 кВт, 400 В.

Вследствие синусоидального, точно регулируемого тока и напряжения, АFE-инвертор может быть выбран с использованием следующего соотношения: $P_{\text{инв}} = 1,73 \cdot U_c \cdot I_{\text{инв}} = P_{\text{мех}} + P_{\text{потерь}}$, где $P_{\text{инв}}$ – мощность АFE-инвертора, Вт; U_c – номинальное напряжение питающей сети, В; $I_{\text{инв}}$ – номинальный ток АFE-инвертора; $P_{\text{потерь}}$ – мощность потерь, зависит от КПД инвертора и двигателя;

$P_{\text{мех}}$ – механическая мощность, определяемая нагрузкой, т.е. произведение момента на валу на скорость двигателя. Однако, определяющей в выборе AFE-инвертора является мощность, а не момент, как при выборе инверторов двигателей. Один или несколько инверторов могут быть подсоединены к выходу блока AFE-инвертора. Максимальная суммарная мощность инверторов не может превышать четырехкратную номинальную мощность AFE-инвертора. Суммарная мощность, потребляемая в сети постоянного тока, не может превышать номинальную мощность AFE-инвертора.

Вопросы для самопроверки

1. В каком случае применяются управляемые преобразователи напряжения?
2. В каком случае применяются управляемые ПЧ?
3. Какие основные силовые схемы управляемых выпрямителей Вы знаете?
4. Какие типы ПЧ вы знаете?
5. Поясните принцип действия ПЧ с непосредственной связью.
6. Поясните принцип действия управляемых инверторов и назовите основные их виды.

Глава 5. Исполнительные устройства и механизмы

5.1. Исполнительные устройства

Исполнительные механизмы и устройства (ИМ, ИУ) промышленных систем автоматики в соответствии с ГОСТ 12997–84 входят в четвертую функциональную группу изделий государственной системы промышленных приборов и средств автоматизации (ГСП) – группу устройств использования командной информации в целях воздействия на процесс и для связи с оператором. Под исполнительным устройством понимается силовое устройство, назначение которого состоит в изменении регулирующего воздействия на объект управления в соответствии с сигналом (командной информацией), подаваемым на его вход от командного устройства (регулятора, ПК и т.д.).

К основным блокам ИУ относятся [12] исполнительный механизм (ИМ) и регулирующий орган (РО), которые конструктивно могут быть объединены в едином изделии или собираются из индивидуально выпускаемых блоков. Под исполнительным механизмом в общем случае подразумевают блок ИУ, преобразующий входной управляющий сигнал от регулирующего устройства в сигнал, который через соответствующую связь осуществляет воздействие на регулирующий орган или непосредственно на объект регулирования. Регулирующим органом называют блок ИУ, с помощью которого производится регулирующее воздействие на объект регулирования.

Одной из основных характеристик ИУ является величина регулируемого усилия (момента), передаваемого выходным органом исполнительного механизма на регулирующий орган. Эта величина обычно указывается в паспорте и является основной при энергетическом расчете и выборе ИУ.

По виду энергии, создающей регулируемое усилие, ИМ подразделяются на пневматические, гидравлические и электрические. Существуют ИМ, в которых используются одновременно два вида энергии: электропневматические, электрогидравлические и пневмогидравлические. Наиболее распространенными из них являются электрогидравлические ИМ. Вид энергии управляющего сигнала может отличаться от вида энергии, создающей регулируемое усилие.

В пневматических ИМ регулируемое усилие создается за счет действия давления сжатого воздуха на мембрану, поршень или сильфон. В соответствии с этим пневматические подразделяются на мембранные, поршневые и сильфонные. Давление сжатого воздуха в пневматических ИУ обычно не превышает 10^3 кПа.

В гидравлических ИМ регулируемое усилие создается за счет действия давления жидкости на мембрану, поршень или лопасть. В соответствии с этим различают мембранные, поршневые и лопастные гидравлические ИМ. Давление жидкости в них обычно находится в пределах $(2,5...20)10^3$ кПа. Пневматические и гидравлические мембранные и поршневые ИМ подразделяются на пружинные и беспружинные. В пружинных ИМ регулируемое усилие в одном направлении создается давлением в рабочей полости ИМ, а в обратном направлении – силой упругости сжатой пружины. В беспружинных ИМ перестановочное усилие в обоих направлениях создается перепадом давления на рабочем органе механизма.

Электрические ИМ по принципу действия подразделяются на электродвигательные и электромагнитные; по характеру движения выходного элемента – на прямоходные с поступательным движением выходного элемента, поворотные с вращательным движением до 360° (однооборотные) и с вращательным движением на угол более 360° (многооборотные).

Вторым основным блоком ИУ является РО. Различные РО по виду воздействия на объект подразделяются на два основных типа: дросселирующие и дозирующие. Ниже приводится классификация исполнительных органов.

Дросселирующие РО подразделяются на:

- для стандартных ИУ: заслоночные, односедельные, трехходовые, двухседельные, диафрагмовые, шланговые;
- для специальных ИУ: задвижные, крановые, клапаны с поворотными створками, шиберные, направляющие аппараты, специальные.

Дозирующие РО подразделяются на:

- механические: дозаторы, насосы, питатели, компрессоры, плужковые сбрасыватели и др.;
- электрические: реостатные, автотрансформаторы, специальные и др.

Дросселирующие РО изменяют гидравлическое сопротивление в системе, воздействующее на расход вещества путем изменения своего проходного сечения. В дозирующих РО осуществляется заданное дозирование поступающего вещества (энергии) или изменение расхода вещества путем изменения производительности агрегатов. В настоящее время широкое распространение в АСУ ТП получили дросселирующие РО.

К вспомогательным блокам ИУ относят блоки, расширяющие область применения ИУ и обеспечивающие выполнение ряда дополнительных функ-

ций. К вспомогательным блокам относятся: блок ручного управления для механического (ручного) управления РО; блок сигнализации конечных положений для выдачи информации о положении выходного элемента ИМ или затвора РО; фиксаторы положения для фиксации положения выходного элемента ИМ или затвора РО; блок дистанционного управления, блок обратной связи для улучшения статических и динамических характеристик ИУ или всей замкнутой системы регулирования.

Электрические ИУ (ЭИУ) находят преимущественное распространение в системах автоматизации, использующих изделия электрической ветви ГСП. При необходимости использовать пневматические и гидравлические ИУ последние дополняются электропнеumo- и электрогидропреобразователями. ЭИУ разделяются на четыре группы: ЭИУ позиционного действия; ЭИУ постоянной скорости; ЭИУ переменной скорости; усилители мощности.

Исполнительные механизмы ЭИУ позиционного типа, постоянной или переменной скорости состоят из электродвигателя и редуктора. Такой ИМ по своим динамическим свойствам соответствует интегрирующему звену, если в качестве выходной переменной в ИУ принят угол поворота (перемещение). Вследствие этого силовая часть может формировать интегральную составляющую таких законов регулирования, как ПИ и ПИД в структуре регулятора.

Другой способ использования ИМ с электродвигателями состоит в охвате двигателя жесткой обратной связью, и в этом случае ЭИУ является пропорциональным звеном (точнее, малоинерционным), положение выходного органа которого пропорционально входному сигналу. ИМ с корректирующими обратными связями используют в ЭИУ переменной скорости.

Качество работы ЭИУ с электродвигателями характеризуют такими показателями, как номинальный момент, время полного хода, выбег, люфт, гистерезис, импульсные характеристики, режим работы.

5.2. Передаточные механизмы

Передаточные механизмы (ПМ), обеспечивающие передачу движения от электродвигателя к исполнительному органу (ИО), разделяются на ПМ линейных движений и ПМ круговых движений. Наиболее характерными ПМ линейных движений являются винтовые, реечные, тросовые, цепные; ПМ круговых движений зубчатые цилиндрические и конические, червячные, планетарные, волновые. Тип ПМ выбирают исходя из сложности его конструкции, КПД, люфта, габаритных размеров и массы, свойств самоторможения, жесткости, удобства компоновки, технологичности, долговечности стоимости. Рассмотрим устройство и особенности применения ПМ, наиболее распространенных в системах управления движением механизмов.

5.2.1. Передаточные механизмы линейных движений

Передача «винт–гайка скольжения» (рис. 5.1, *a*) служит для преобразования вращательного движения в поступательное, а в отдельных случаях и для преобразования поступательного движения во вращательное. Достоинства передачи: простота конструкции, компактность, высокая надежность, плавность, бесшумность, обеспечение медленных перемещений с большой точностью, большой выигрыш в силе. Недостатки – повышенный износ резьбы вследствие большого трения, низкий КПД, наличие люфтов.

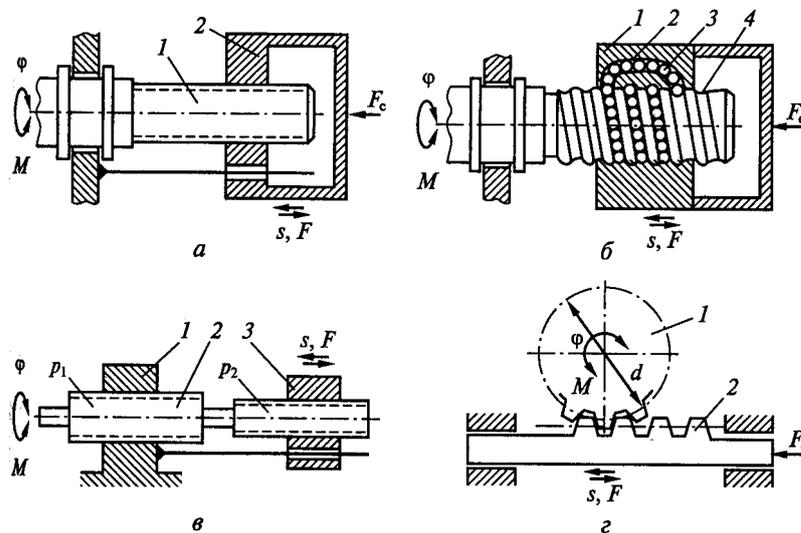


Рис. 5.1. Передаточные механизмы линейных движений

Преобразование вращательного движения винта 1 в поступательное перемещение гайки 2 определяется формулой $s = \varphi p_p k / (2\pi)$, где φ – угол поворота винта; p_p – шаг резьбы; k – число заходов резьбы.

Скорость гайки $v = \omega p_p k$, где ω – угловая скорость винта.

КПД винтовой пары $\eta_{\text{вп}} = \text{tg}\psi / \text{tg}(\psi + \rho_c)$, где ψ – угол подъема винтовой линии, $\psi = \text{arctg}[p_z / (\pi d_{\text{ср}})]$ ($p_z = p_p k$ – ход резьбы, $d_{\text{ср}}$ – средний диаметр резьбы): ρ_c – приведённый угол трения скольжения, $\rho_c = \text{arctg}[f_c / \cos(\alpha/2)]$ (f_c – коэффициент трения скольжения, α – угол профиля резьбы).

С учетом дополнительных потерь в резьбе из-за ошибок изготовления и потерь в опорах КПД передачи $\eta_{\text{вп}} = (0,9 \dots 0,95) \text{tg}\psi / \text{tg}(\psi + \rho_c)$. Обычно $\eta_{\text{вп}} = 0,25 \dots 0,70$.

Условие самоторможения (условие, при котором передача движения невозможна), определяется неравенством $\psi \leq \rho_c$. Преобразование поступательного движения во вращательное практически возможно при $\psi \geq 2\rho_c$. В этом случае угол поворота и скорость винта определяются из формул $\varphi = 2\pi s / (p_p k)$, $\omega = 2\pi v / (p_p k)$. Вращающий момент, приложенный к ведущему вращательному звену 1, $M = F_c (d_{\text{ср}}/2) \text{tg}(\psi + \rho_c)$, где F_c – осевая сила, приложенная к поступательно движущемуся ведомому звену 2.

Мощность на ведущем звене $P = F_c v / \eta_{\text{вп}}$, где v – линейная скорость ведомого звена.

Передача «винт–гайка качения» (рис. 5.1, б) предназначена для преобразования вращательного движения в поступательное и, наоборот, поступательного движения во вращательное. По сравнению с предыдущей передачей она характеризуется значительно большим КПД, меньшим износом, большей точностью хода, повышенной долговечностью. Между рабочими поверхностями гайки 1 и винта 4 передачи помещены стальные шарики 3. Скорость перемещения шариков отличается от скорости ведущего и ведомого звеньев. Поэтому для обеспечения непрерывной циркуляции шариков концы рабочей части резьбы соединены возвратным каналом 2.

Формулы, используемые для расчета режимов преобразования вращательного движения в поступательное и наоборот, аналогичны формулам для передачи винт-гайка скольжения. Однако при расчете КПД вместо угла ρ_c применяется приведенный угол трения качения $\rho_k = \text{arctg}[f_k / (0,5d_{\text{ш}})]$ ($d_{\text{ш}}$ – диаметр шарика, f_k – приведенный коэффициент трения качения).

Коэффициент f_k имеет малые значения, поэтому КПД передачи имеет высокие значения $\eta_{\text{вт}} \approx 0,8 \dots 0,9$. Эффект самоторможения в такой передаче отсутствует.

Дифференциальная винтовая передача (рис. 5.1, в) состоит из винта 2 с двумя участками резьбы разных шагов (p_1 и p_2), но одного направления (правого или левого), гайки 3 и стойки 1. При вращении винта 2 гайка 3 совершает два поступательных движения: относительно винта 2 и вместе с винтом относительно стойки 1. Полное поступательное перемещение гайки 3 относительно стойки 2 $s = \varphi (p_1 - p_2) / (2\pi)$, где φ – угол поворота винта.

Аналогично для скорости $v_2 = \omega (p_1 - p_2) / (2\pi)$. Достоинство этой передачи – возможность получения малых линейных перемещений.

Реечная передача (рис. 5.1, г) предназначена для преобразования вращательного движения шестерни 1 в поступательное перемещение (зубчатой) рейки 2 и наоборот.

Перемещение рейки $s = \pi d \varphi / 360$ или $s = d \varphi / 2$, где d – делительный диаметр шестерни, φ – угол поворота шестерни. В первом случае угол φ измеряется в градусах, а во втором – в радианах.

Во всех случаях, когда требуемые перемещения исполнительного органа (ИО) машины по вертикальным и наклонным траекториям достаточно велики (десятки, сотни и даже тысячи метров) наиболее простым и универсальным механизмом перемещения является подъемная или тяговая лебедка, предназначенная для передачи усилий от привода к ИО с помощью подъемного или тягового каната соответствующей длины [2, 6]. По принципу работы лебедки подразделяются на одноконцевые и двухконцевые, а по конструкции органа навивки каната – на барабанные лебедки и лебедки с канатоведущими шкивами. Одноконцевые лебедки являются неуравновешенными подъемными механизмами.

Для перемещения грузов применяются также механизмы передвижения по рельсам [2, 6].

5.2.2. Передаточные механизмы круговых движений

Цилиндрическая и коническая зубчатые передачи (рис. 5.2, *а*, *б*). Применяются как двухсторонние передачи, различающиеся направлениями размещения осей шестерен. В одноступенчатом варианте обеспечивают малые значения коэффициентов редукции (до 5 ... 8).

Червячная передача (рис. 5.2, *в*) применяется как силовая передача, обеспечивающая коэффициенты редукции до 300 и более. Обладает свойством самоторможения. Недостатком передачи является невысокое значение КПД.

Планетарная передача (рис. 5.2, *г*) применяется как двухсторонняя зубчатая передача имеющая малые габариты и массу и большие значения коэффициентов редукции. Особенностью передачи является наличие колес с перемещающимися геометрическими осями (сателлитами), которые обкатываются вокруг центрального колеса.

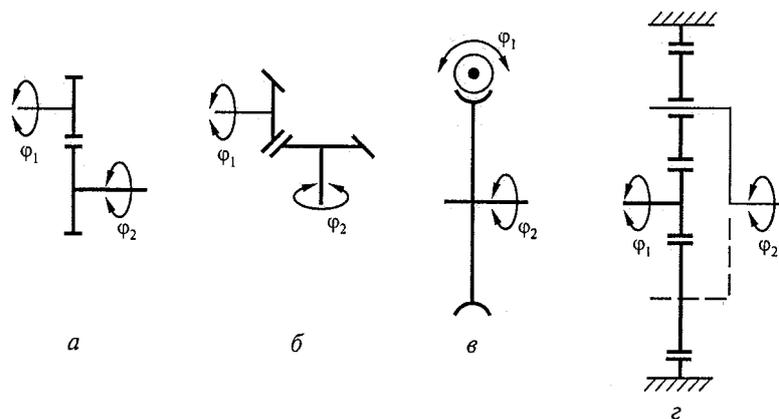


Рис. 5.2. Передаточные механизмы круговых движений

Волновая зубчатая передача (рис. 5.3, *а*, *б*) состоит из генератора волн *1* (два ролика, установленные на водиле), гибкого колеса *2* (тонкостенная цилиндрическая оболочка с нарезанным зубчатым венцом с числом зубьев z_1), жесткого фиксированного относительно корпуса колеса *3*, внутри которого нарезан зубчатый венец с числом зубьев z_2 . При вращении роликов происходит деформация гибкого колеса, сравнимая с размерами зуба, и осуществляется зацепление и передача движения от одного колеса к другому. На рис. 5.3, *в* показано торцевое сечение, на котором: *I* – контур жесткого колеса, *II* – контур гибкого колеса до деформации, *III* – контур гибкого деформированного колеса; Δ_0 – радиальная деформация гибкого колеса.

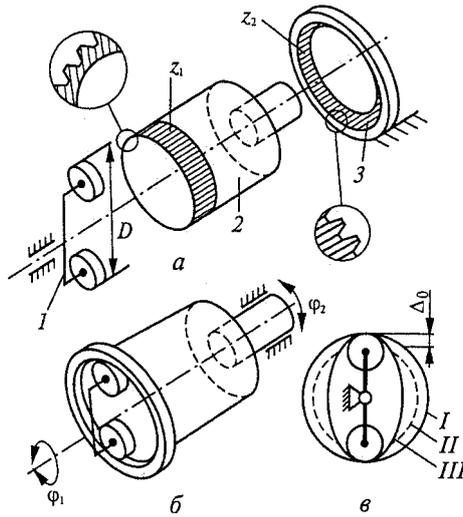


Рис. 5.3. Волновая зубчатая передача

После полного оборота генератора волн ($\varphi_1 = 2\pi$) вал гибкого колеса повернется в противоположном генератору направлении на угол $\varphi_2 = 2\pi(z_1 - z_2)/z_1$. Коэффициент редукции передачи равен $i_B = \varphi_1/\varphi_2 = z_1/(z_1 - z_2)$.

Если гибкое колесо связать с корпусом, а жесткое с выходной валом, то после поворота генератора волн на угол $\varphi_1 = 2\pi$ жесткое колесо повернется в том же направлении, что и генератор волн, на угол $\varphi_3 = 2\pi(z_3 - z_1)/z_2$. Коэффициент редукции от генератора волн к жесткому колесу равен $i'_B = \varphi_1/\varphi_3 = z_2/(z_2 - z_1)$.

Особенностями волновой передачи являются: большие значения коэффициентов редукции (до 50...300 в одной ступени), одновременное зацепление большого числа пар зубьев колес (что дает возможность передавать большие крутящие моменты при относительно малых габаритах и массе), высокая кинематическая точность и малый люфт, высокий КПД (0,6...0,85).

Для круговых перемещений (поворотов) больших масс применяют поворотные платформы [2].

Вопросы для самопроверки

1. Назовите типовые структуры, состав ИУ.
2. Назовите основные характеристики ИУ.
3. Дайте классификацию режимов работы ИУ.
4. Дайте классификацию передаточных механизмов.
5. Перечислите передаточные механизмы линейных движений.

6. Какие основные характеристики у передаточных механизмов линейных движений?
7. Перечислите передаточные механизмы круговых движений.
8. Какие основные характеристики у передаточных механизмов круговых движений?
9. В чем состоит особенность волновой зубчатой передачи?
10. Какие основные характеристики у волновой зубчатой передачи?
11. В каких случаях лучше применять передачу «винт–гайка качения» ?

Глава 6. Контрольно-измерительные средства систем автоматизации и управления техническими объектами и технологическими процессами

6.1. Общие сведения

Устройства преобразования, хранения, распределения и выдачи информации входят, как правило, в состав модулей программируемых контроллеров. В технологических агрегатах и комплексах используются разнообразные устройства, предназначенные для получения информации. Имеются следующие тенденции развития таких устройств:

- 1) расширяющееся применение датчиков для контроля электромагнитных, механических и технологических переменных, качества изделий;
- 2) стремление к использованию методов прямого измерения контролируемых переменных и к установке датчиков в непосредственной близости от исполнительных органов рабочей машины;
- 3) применение датчиков для контроля состояния электротехнического, механического и технологического оборудования; использование информации для диагностики и оповещения операторов через компьютерные системы управления о состоянии оборудования.

В современном оборудовании контролю подвергаются: температура в коммутационных аппаратах, узлах электродвигателей, управляемых преобразователей, опорах механизмов; уровни вибраций во всех функционально значимых механических узлах системы; зазоры в механических передачах; усилия и упругие моменты в механизмах; износ технологического оборудования и др.

В качестве основных контрольно-измерительных средств применяются датчики, непосредственно воспринимающие изменения контролируемого параметра и преобразующие эти изменения в механические или электрические сиг-

налы.

В основном датчики представляют собой единое изделие (собственно датчик и преобразователь), имеющее на выходе электрические унифицированные сигналы (УС): релейные; непрерывные токовые (0...5 мА, 0...20 мА) и непрерывные напряжения постоянного тока (0...10 мВ, 0...50 мВ, 0...1 В, 0...10 В, 0...12 В, 0...24 В); непрерывные частотные (1500...2500 Гц, 4000...8000 Гц); непрерывные напряжения переменного тока 50 Гц (0...1 В, 0...2 В) и др. Все выше перечисленные электрические сигналы определены стандартами.

Датчики оцениваются по таким характеристикам, как точность, линейность и разрешающая способность, частотная характеристика, характеристика шума, входной и выходной импеданс и другим параметрам. По структуре построения в зависимости от способа соединения элементов датчики разделяются на три вида: с последовательным преобразованием, дифференциальные и компенсационные [3].

Дадим общую характеристику наиболее распространенных датчиков измерения электромагнитных, механических и технологических переменных.

6.2. Датчики электромагнитных переменных

Датчики тока и напряжения. В системах автоматического управления электроприводом сигналы, пропорциональные току, снимаются с шунтов, трансформаторов тока. Преобразованные сигналы датчиков используются также для измерения ЭДС, мощности, потока и т. д. Основными задачами при создании датчиков тока и напряжения являются задачи гальванического разделения силовых цепей и цепей управления, обеспечения высокого быстродействия и точности.

В аналоговых датчиках напряжения для разделения цепей применяют модуляцию входного напряжения и трансформирование с последующей демодуляцией и усилением.

В настоящее время в качестве датчиков тока все шире используются преобразователи, основанные на эффекте Холла, которые строятся в виде магнитопроводов с зазором. Магнитопровод из магнитомягкого материала намагничивается при помощи обмотки, по которой течет измеряемый ток. В зазоре устанавливается датчик Холла, питаемый от стабилизированного источника тока. Датчики тока с использованием эффекта Холла обеспечивают гальваническую развязку между цепями измерения и выходной при напряжениях до нескольких

киловольт, точность до $\pm 1\%$ и полосу пропускания до 1 кГц [14].

Датчики потока и магнитной индукции. Для этих целей применяют датчики Холла. Достоинствами этих датчиков являются: возможность измерения как постоянных, так и переменных магнитных полей, хорошее пространственное разрешение из-за малых размеров преобразователей. Недостатком является сравнительно большая зависимость постоянной Холла и, следовательно, ЭДС от температуры.

6.3. Датчики механических переменных

Датчики параметров движения. Данная группа датчиков предназначена для получения информации о линейных и угловых перемещениях, скоростях и ускорениях, силах и моментах.

Основные требования, которые предъявляются к датчикам перемещений: 1) высокая точность измерения (или контроля) перемещений; 2) быстродействие; 3) надежность; 4) помехоустойчивость информативного параметра; 5) малые нелинейные искажения.

Существующие датчики перемещений могут классифицироваться по различным признакам, основными из которых являются: характер измеряемых перемещений, физический принцип действия чувствительного элемента, структура построения, вид выходного сигнала [3].

По физическому принципу действия чувствительного элемента все существующие датчики можно разделить на фотоэлектрические (оптоэлектронные), использующие эффект периодического изменения освещенности (датчики снабжаются каналом нулевого импульса (началом отсчета), что дает возможность при наличии счетчика использовать датчик не только для регулирования скорости, но и как датчик положения); электростатические: емкостные (основанные на эффекте периодического изменения емкости) и пьезоэлектрические (основанные на эффекте возникновения электрического заряда на поверхности некоторых материалов в момент деформации); электромагнитные (использующие, например, эффект периодического изменения индуктивности или взаимной индуктивности); электроакустические (основанные, например, на эффекте изменения энергии поверхностной акустической волны); реостатные (использующие эффект линейного изменения сопротивления) и лазерные (интерферометрические).

Сравнительный анализ перечисленных датчиков показывает, что, например, электростатические, в частности емкостные, датчики обладают высокой

чувствительностью и добротностью, малой нелинейностью характеристики (порядка 0,00001...0,0001 %), малыми тепловыми потерями. Однако широкое распространение емкостных датчиков ограничено большим выходным сопротивлением, необходимостью в жесткой герметизации, трудностью исключения влияния паразитных емкостей.

Электромагнитные индуктивные датчики уступают емкостным по чувствительности и линейности характеристики, но превосходят их по выходной мощности, помехоустойчивости, надежности в условиях производства (где возможны колебания температуры и влажности окружающей среды).

Достоинствами электромеханических электроконтактных датчиков являются простота конструкции, большие мощность и амплитуда выходных сигналов. К недостаткам следует отнести худшие по сравнению с другими датчиками метрологические характеристики – как статические, так и динамические.

Фотоэлектрические датчики имеют в настоящее время наибольшую точность среди существующих преобразователей, обладают наивысшей разрешающей способностью, отличаются высокой чувствительностью и быстродействием, простотой и надежностью конструкции, малыми габаритами и массой, отсутствием механической связи с контролируемым объектом, малой инерционностью, возможностью дистанционного измерения и контроля практически без измерительного усилия. К недостаткам фотоэлектрических датчиков следует отнести чувствительность к посторонним источникам излучения, недостаточную стабильность и надежность.

Тахогенераторы постоянного тока серии ПТ и переменного тока серии ТТ применяются в регулируемых электроприводах средней и большой мощности при невысокой точности регулирования скорости. Они обладают низкими обратными и полюсными пульсациями и высокой линейностью и стабильностью характеристик. Магнитная система тахогенераторов ПТ свободно подвешена на валу посредством шариковых подшипников и фиксируется креплением к подшипниковому щиту приводного электродвигателя. Тахогенераторы на частоту вращения 600 об/мин и выше выполняются с добавочными полюсами. Тахогенераторы серий ПТ и ТТ обладают значительными габаритами и массой и используются в основном как датчики скорости в приводах прокатных станов, бумажной, химической промышленности и как датчики скорости мощных турбоагрегатов.

Для приводов средней мощности, не предъявляющих высоких требова-

ний к точности регулирования скорости, используются тахогенераторы постоянного тока серий ЭТ, ТМГ, ТД.

Тахогенераторы серий ПТ и ТТ предназначены для работы в запыленных помещениях в условиях как умеренного, так и тропического климата. Тахогенераторы ПТ выполняются в закрытом исполнении с естественным охлаждением. По способу монтажа тахогенераторы выполняются фланцевого исполнения со станиной без лап.

Для станочного привода используются тахогенераторы серии МЭТ, обладающие малой асимметрией и нелинейностью характеристик.

В комплектных электроприводах используются встроенные тахогенераторы на одном валу с двигателем, при этом кроме указанных серий тахогенераторов используются машины типа СЛ.

В современном электроприводе избегают соединения тахогенератора с валом посредством гибкой передачи и редукторов, так как гибкие передачи обладают свойствами колебательного звена и ухудшают динамику привода, а редуктор вызывает затруднения, связанные с наличием люфтов в передачах.

Однако жесткие точностные и эксплуатационные требования, предъявляемые к промышленным системам автоматизации, привели к тому, что в качественных системах в основном используются фотоэлектрические и электромагнитные датчики перемещения, а также электромагнитные и цифровые датчики скорости.

Датчики усилия. В датчиках усилия применяются магнитострикционные и пьезоэлектрические преобразователи. Работа магнитострикционного (магнитоупругого) преобразователя основана на магнитоупругом эффекте.

Если на намагниченный образец ферромагнитного тела воздействовать внешней механической силой, то тело деформируется, домены изменяют свою ориентацию и индукция в материале изменится. Таким образом, возникает магнитострикционная составляющая деформации, которая накладывается на чисто механическую деформацию, подчиняющуюся закону Гука. Поэтому упругие свойства ферромагнитного материала меняются с изменением усилия. Кроме того, при этом происходит изменение магнитных свойств, которое можно наблюдать по изменению кривой намагниченности (обратный магнитострикционный эффект). Поскольку абсолютная магнитная проницаемость вещества $\mu = B/H$, то при заданной напряженности поля H изменение индукции B эквивалентно изменению магнитной проницаемости. Рассмотренное явление ис-

пользуется для преобразования механической силы в электрическую величину.

Лучшими метрологическими характеристиками обладает магнитоанізотропный трансформаторный датчик. Пока измеряемая сила не действует, магнитопровод такого преобразователя магнитоизотропен – его магнитная проницаемость одинакова во всех направлениях. Приложение силы приводит к уменьшению магнитной проницаемости в направлении сжимающей силы и к увеличению – в поперечном направлении (при применении в качестве материала сердечника пермаллоя). Под действием механических напряжений материал становится магнитоанізотропным.

Датчик изготавливается из листового ферромагнитного пакета пластин, имеющих четыре отверстия; сквозь них пропускаются две обмотки – питания ω_1 и измерительная ω_2 , образующие первичную и вторичную обмотки трансформатора. Они расположены под углом 45° к направлению действия силы и под углом 90° друг к другу. Магнитное поле, создаваемое обмоткой питания при отсутствии измеряемой силы F , направлено параллельно виткам измерительной обмотки и не заходит в нее. ЭДС в измерительной вторичной обмотке не индуцируется. При приложении силы магнитная проницаемость изменяется, что вызывает деформацию магнитного поля. Магнитный поток пронизывает измерительную обмотку и индуцирует в ней ЭДС E_2 , пропорциональную действующей силе. Чувствительность преобразователя зависит от материала сердечника.

Для магнитострикционных датчиков силы характерны: малое воздействие на измеряемую величину (вследствие повышенной жесткости); высокая стойкость и надежность (вследствие механической прочности); посредственная линейность; значительная чувствительность к температуре и паразитным магнитным полям; недостаточная стабильность во времени; ограниченность полосы пропускания. Точность магнитострикционных датчиков составляет несколько процентов от верхнего предела измерения.

Работа *пьезоэлектрических преобразователей* основана на явлении пьезоэлектричества, состоящего в возникновении (или в изменении) электрической поляризации в некоторых анизотропных диэлектриках – природных (кварц, турмалин и т. п.) или искусственных (сульфат лития, синтетический кварц, обработанная керамика и т. п.), – когда они деформируются под действием определенным образом направленной силы. Если расположить пару обкладок на

противоположных сторонах пьезоэлектрической пластинки и приложить к пластине силу, то под действием силы на обкладках появятся заряды противоположных знаков и, следовательно, возникнет разность потенциалов, пропорциональная приложенной силе. Такое конденсаторное устройство дает возможность измерять силы и любые физические величины, приводящие к возникновению сил: давление, ускорение, вибрации. Это конденсаторное устройство представляет собой пьезоэлектрический датчик.

Подвергнутый действию соответствующим образом ориентированного электрического поля, пьезоэлектрический материал деформируется; в частности, можно вызвать его возбуждение на своем механическом резонансе. Это свойство пьезоэлектриков используется для управления частотой генерации. Отсюда следует возможность изготовления пьезоэлектрических датчиков, резонанс которых возникает на определенной частоте, чувствительной к изменению различных физических величин (температуры, давления и т. п.).

Часто в датчиках вместо пьезоэлектрических кристаллов используется пьезокерамика, более дешевая и удобная в изготовлении. Наиболее широкое применение нашло семейство керамик, получаемых на основах оксидов свинца, циркония и титана.

Датчики деформаций. В качестве датчиков деформаций применяют тензорезисторные преобразователи (металлические, проволочные, полупроводниковые и др.). Тензорезисторный преобразователь (тензорезистор) представляет собой проводник, изменяющий свое сопротивление при деформации растяжения-сжатия. Длина проводника l и площадь поперечного сечения S изменяются при его деформации. Эти деформации кристаллической решетки приводят к изменению удельного сопротивления проводника ρ и, следовательно, к изменению полного сопротивления.

Тензорезисторные датчики приклеиваются к объекту и деформируются вместе с ним. При этом из-за малых размеров (в зависимости от типа от 1 мм до 1 см) такие датчики обеспечивают весьма точные измерения деформаций.

Применение датчиков деформаций не ограничивается определением напряжений. Любые физические величины, особенно механические, действие которых на объект вызывает его деформацию, могут быть преобразованы с помощью измерителей удлинений. Это относится к давлению, ускорению, моменту сил. Датчик деформаций и объект составляют, таким образом, совокупный измеритель воздействующей физической величины.

Обычно датчик состоит из сетки, образованной нитевидными проводниками длиной nl , где l – длина одного нитевидного элемента, n – их количество.

Наилучшим отечественным материалом для изготовления проводниковых тензорезисторов, используемых при температурах ниже 180 °С, является константан, представляющий из себя сплав никеля (45%) и меди (55%).

Акселерометры, или измерители ускорения, широко применяются в промышленности при изучении чувствительности изделий к ударам и вибрациям. В последнее время буферные и емкостные преобразователи, использовавшиеся в этих измерителях, вытесняются пьезоэлектрическими датчиками. Эквивалентная схема пьезоэлектрического преобразователя представляет собой источник напряжения с последовательно соединенным конденсатором, на котором образуется заряд. Выходное переменное напряжение такого датчика, вырабатываемое под воздействием вибрационного ускорения, обычно имеет очень малую амплитуду. Поэтому для увеличения выходного сигнала склеивают несколько пьезокристаллов. Тем не менее, поскольку величина переменного заряда на конденсаторе очень мала, то такой датчик обычно подключают к входу усилителя заряда с малым входным током, одновременно преобразующего выходное напряжение датчика в сигнал скорости. Если этот сигнал дополнительно проинтегрировать, а затем протестировать с высокой точностью, то величина получаемого напряжения будет пропорциональна амплитуде смещения (это напряжение можно проградуировать, например, в миллиметрах перемещения на вольт).

6.4. Датчики технологических переменных

Датчики температуры. Выбор типа датчика температуры в основном определяется диапазоном изменения измеряемой температуры и условиями эксплуатации. Для измерения температуры используют термопары, термосопротивления, полупроводниковые датчики и пирометры. Рабочие диапазоны температур этих датчиков приведены в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Тип датчика	Диапазон температур, °С
Стекланные стержневые	- 50 ÷ +600
Биметаллические	0 ÷ +500
С наполнителем	- 50 ÷ +300
Полупроводниковые	- 100 ÷ +100

Резисторные	- 100 ÷ +300
Пирометрические	+100 ÷ +5000
Термопары	- 250 ÷ +2000

В качестве датчиков температуры часто применяют термопары, поскольку они имеют широкий рабочий диапазон температур и высокую надежность. При измерении температуры с использованием термопары последовательно с измерительным спаем включают компенсационные спай, позволяющие получить ток определенного направления и максимальную ЭДС измерительного спая. В зависимости от рабочего диапазона температур и среды, в которой находится датчик, применяют различные пары металлов. Для работы в широком диапазоне температур передаточные характеристики датчиков, как правило, недостаточно линейны, так что для их линеаризации требуется применять специальные схемы.

Лучшие по сравнению с термопарами разрешение и повторяемость характеристик достигаются на термометрах сопротивления - приборах, использующих эффект изменения электрического сопротивления проводников при изменении температуры. В промышленности часто применяют платиновые термометры, обладающие высокой точностью и механической и электрической стабильностью. Термисторы – другой тип термометров сопротивления - получают спеканием смесей металлических сплавов, при этом образуется керамика с большим отрицательным температурным коэффициентом. Температурный диапазон металло-пленочных сопротивлений по сравнению с термисторами шире, а линейность выше, однако термисторы имеют примерно в десять раз большую чувствительность. При проведении измерений температуры такими датчиками обычно требуется преобразовать изменение сопротивления в изменение напряжения и по возможности линеаризовать зависимость выходного напряжения от температуры.

В тех случаях, когда возможно только визуальное наблюдение исследуемого процесса, для измерения температуры прибегают к оптическим пирометрам. Диапазон измеряемых температур в этом случае ограничивается диапазоном спектральной чувствительности используемого датчика.

Одним из современных методов измерения температуры является метод, основанный на использовании транзистора со смещением базового перехода в прямом направлении. В диапазоне рабочих температур ± 100 °С погрешность

измерения этим методом составляет $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. На практике в рабочем диапазоне температур этих датчиков проводится наибольшее число измерений температуры. Отрицательный температурный коэффициент падения напряжения на переходе база - эмиттер биполярного транзистора равен $2,2\text{ мВ}/^{\circ}\text{C}$, и при питании от стабилизированного источника тока датчик может быть сделан очень стабильным.

Датчики давления и расходомеры. Раньше для измерения давления и расхода жидкости или газа использовались потенциометрические приборы. Низкая стоимость и высокий уровень выходного напряжения обеспечили широкое применение этих приборов в простых системах однако им свойственны высокая чувствительность к ударам и вибрациям, а также значительные погрешности, обусловленные механической конструкцией, приводящие к нелинейности передаточных характеристик (обычно около 3%), что ограничивает применение приборов такого типа. Для устранения недостатков, свойственных потенциометрическим датчикам давления, были разработаны бесконтактные тензометры. Эти приборы обеспечили существенное увеличение точности и стабильности и имели типовую погрешность $0,5\%$ от полной измерительной шкалы. Их уровень выходного напряжения находится в милливольтовом диапазоне, поэтому после прибора обычно ставят предусилитель. В отличие от других бесконтактных приборов полупроводниковые тензометры располагаются непосредственно на диафрагме, воспринимающей давление, что устраняет механические соединительные детали. Частотный диапазон, чувствительность к вибрациям и точность этих приборов того же порядка, что и бесконтактных тензометров. Однако поскольку уровень выходного напряжения в полупроводниковых тензометрах низок, то в этом случае также необходимы предусилители, а низкая чувствительность делает их удобными только для измерений давлений порядка 7 Атм и выше. Дальнейшее улучшение характеристик достигается использованием кристаллических диафрагм с напыленными пьезорезисторами.

Усовершенствование тензометров связано с компенсацией различных источников ошибок, что достигается путем введения пьезорезистора в состав гибридной интегральной схемы. Гибридный прибор содержит встроенный вакуумный эталон, внутренний нагреватель, который, вызывая локальный нагрев (стабилизируя температуру локальной области), уменьшает температурные эффекты, и пьезорезисторы, включенные в схему чувствительного моста Уитстона, служащую одновременно для предварительного усиления и формирования сиг-

нала.

Расход жидкостей обычно измеряют либо датчиками перепада (разности) давления, либо механическими контактными датчиками (например, турбинами). Скорость потока F характеризует скорость движения жидкости и обычно имеет размерность м/с. Объемный поток Q есть объем жидкости, протекающий в единицу времени, например м³/с. Для газов поток массы M определяют в кг/с.

Дифференциальные манометры различных систем используют для измерения технологических параметров расхода жидкости, газа или пара, разности давлений (перепада), избыточного давления (напора), разрежения (тяги), уровня жидкости в открытых резервуарах и в резервуарах под давлением.

Измерение расхода жидкости или газа дифманометрами - расходомерами осуществляется по методу переменного перепада давлений. В этом случае дифманометр-расходомер работает совместно с сужающим устройством, которое устанавливается непосредственно в трубопроводе и служит для создания переменного перепада давления. В качестве сужающего устройства могут применяться диафрагмы, сопла или расходомерные трубы. При измерении расхода жидкости или газа с помощью дифманометров измеряется разность давлений (перепад) до сужающего устройства и после него.

Измерение расхода по методу переменного перепада может производиться при соблюдении следующих условий: вещество, протекающее через сужающее устройство, должно находиться в одной фазе – жидкой или газообразной; протекающее вещество должно полностью заполнить сечение трубопровода и сужающего устройства; изменение расхода вещества должно происходить плавно без пульсаций; трубопровод до сужающего устройства и после него должен быть на достаточном протяжении прямолинейным и цилиндрическим.

Основным элементом измерителей скорости потока является точечный датчик; для газовых потоков это, например, трубка Пито. Однако точность таких измерителей невысокая. Большую точность имеют многоточечные датчики или датчики с усреднением по линии (такие, как кольцевые датчики). При измерении перепада давления потоков газов низкого давления возможны другие источники ошибок, что может потребовать применения чувствительных датчиков давления на основе трансформаторов линейных перемещений.

К расходомерам с механическим контактом относятся турбинные и гироскопические преобразователи, которые измеряют скорость потока по угловому моменту; охлаждаемые термоэлектрические преобразователи скорости; датчи-

ки, измеряющие скорость по электрическому сопротивлению, а также датчики, измеряющие скорость потока с использованием β – излучения. Для широко распространенных турбинных расходомеров связь между скоростью потока F и угловой скоростью вращения турбины ω выражается следующим уравнением:
 $F = (\omega r) / \operatorname{tg} \alpha$ м/с, где r – средний радиус лопастей ротора, α – угол между лопастями ротора.

Датчики уровня. Для измерения уровня жидкости и его изменения используются датчики различной сложности. Широко применяются поплавковые датчики, дифференциальные датчики давления, ультразвуковые и радиоактивные.

Поплавковые датчики отличаются простотой и разнообразием методов преобразования изменений измеряемого уровня в показания отсчетного устройства. Однако при измерении уровня вязких жидкостей они работают неудовлетворительно. В том случае, когда известна плотность жидкости W , высоту столба жидкости можно измерять дифференциальным датчиком давления (дифманометром), который при этом должен фиксировать разность гидростатического давления ΔP между уровнем поверхности и плоскостью дна. Высота столба жидкости в этом случае определяется из отношения $\Delta P/W$. По принципу действия измерительной системы дифманометры делятся на поплавковые, кольцевые, колокольные, мембранные и сильфонные. Ультразвуковые датчики могут входить в состав локационных установок, которые особенно удобны при измерении уровня жидкостей в высоких цистернах, а также в состав устройств, измеряющих дискретные значения уровней. В последнем случае излучатели, расположенные на разных уровнях, посылают ультразвуковые сигналы в горизонтальном направлении в сторону соответствующих приемных датчиков, установленных на противоположной стороне цистерны. Уровень тяжелых жидкостей, таких, как цемент и бумажная масса, лучше всего измерять радиоактивными датчиками, устанавливаемыми аналогично ультразвуковым устройствам дискретного измерения уровня. В устройствах с механическим приводом удобно использовать позиционные сервосистемы переменного тока, поскольку они не требуют периодической калибровки.

К датчикам технологических переменных относятся также датчики толщины полосового материала (металла, бумаги, пластика и др.), влажности материала, веса и других переменных. Использование этих датчиков рассматривается в [2].

6.5. Датчики в системах электропривода

Датчики скорости широко применяются в системах комплектных электроприводов постоянного и переменного тока. Применявшиеся ранее аналоговые тахогенераторы меняются сегодня на более точные, надежные и помехоустойчивые цифровые датчики – абсолютные и инкрементальные энкодеры, резольверы – оптоэлектрические пристраиваемые датчики для регистрации отрезков пути, углов поворота или числа оборотов. Выпуск этих датчиков производится как российскими (СКБ ИС) так и зарубежными компаниями (Heidenhine, Leine&Linde, Siemens, Hubner, Omron, Schneider Electric, Avtron и др.). Они используются вместе с системами ЧПУ, приводами и устройствами определения положения. Различие между инкрементальными и абсолютными процессами измерения состоит в том, что для инкрементальных датчиков после каждого отключения сети необходимо провести процедуру реферирования (выход в ноль) механизма, т. к. после отключения питания движения механизма не регистрируются. Абсолютные датчики, напротив, регистрируют эти движения механически, и после включения питания показывают действительную позицию. Процедура реферирования (выход в ноль) не нужна. Датчики выпускаются на напряжение питания 5 В DC или, на выбор, от 10В до 30 В DC. Большинство систем управления передают напряжение питания датчика через сигнальный кабель. Исполнение 10 – 30В DC делает возможным использование длинных кабелей. Инкрементальные датчики работают по принципу оптоэлектронной развертки делительных дисков в проходящем луче. Источник света - светодиод. Модуляция светотени, возникающая при вращающемся вале датчика, регистрируется фотоэлементами. Через подходящее распределение штрихового образца на связанном с валом делительном диске и неподвижной диафрагме фотоэлементы выдают два путевых сигнала – А и В, смещенных друг относительно друга на угол 90° , а также нулевой сигнал R. Электроника датчика усиливает эти сигналы и преобразовывает их в сигнал соответствующего выходного уровня. В качестве выходных сигналов используются: дифференциальные сигналы (TTL), интерфейс передачи – RS 422; аналоговые сигналы sinus/cosinus с уровнем 1 Vpp; сигналы HTL (High Voltage Transistor Logic).

Для датчиков с интерфейсом RS 422 (TTL) за счет обработки передних и задних фронтов сигналов можно увеличить разрешение в четыре раза. Чтобы достичь еще более высокого разрешения, в вышестоящую систему управления интерполируются сигналы синусных датчиков. Датчики с интерфейсом HTL

хорошо подходят для использования с модулями счетчиков программируемых контроллеров.

Датчики абсолютного значения (угловые кодирующие устройства) созданы по принципу считывания подобно инкрементальным датчикам, но обладают большим числом дорожек. Например, при 13 импульсных дорожках для однооборотных датчиков, кодируются $2^{13} = 8192$ шагов. Используемый одношаговый код – код Грея (Gray Code). Это позволяет обеспечить отсутствие ошибок считывания. После включения механизма значение позиции сразу же переносится в систему управления. Процедура реферирования (выход в ноль) не производится. Передача данных от датчика в систему управления происходит либо через синхронный последовательный интерфейс SSI, EnDat или же через Profibus-DP.

Сравнительные технические характеристики инкрементальных и абсолютных датчиков с различными интерфейсами передачи данных приведены в табл. 6.2, 6.3. Для примера рассмотрены датчики Simodrive Sensors производства компании Siemens [23].

Таблица 6.2

Исполнение	Датчик с TTL (RS 422)	Датчик с sin/cos $1 V_{pp}$	Датчик с HTL	Двухимпульсный датчик с интерфейсом RS422 (TTL)
Рабочее напряжение питания датчика	5 В DC \pm 10% или от 10 В до 30 В	5 В DC \pm 10%	10 В до 30 В DC	5 В DC \pm 5%
Предельная частота (-3 дБ)	-	≥ 180 кГц (тип.)	-	-
Предельная частота (-6 дБ)	-	≥ 450 кГц (тип.)	-	-
Частота считывания (max)	300 кГц	-	300 кГц	Импульс 1:160 кГц Импульс 2:1 МГц
Разрешение, макс.	5000 имп./об.	2500 имп./об.	2500 имп./об.	Импульс 1:1024 имп./об. Импульс 2:9000 имп./об.
Точность (в угловых секундах)	$\pm 18^\circ$ механич. х 3600/число имп. z			Импульс 1: ± 63 Импульс 2: ± 12

Протоколы SSI и EnDat имеют преимущества при использовании с системами реального времени. При установках с большим числом датчиков Profibus-DP выгоднее за счет сокращения затрат на монтаж. Однооборотные датчики разрешают один оборот (360° механически) на определенное количество шагов, напр., 8192. Каждой позиции приписано определенное кодовое слово. После 360° значения позиции снова повторяются. Многооборотные датчики, в дополнение к абсолютному положению, в течение одного оборота регистрируют также число оборотов. Это обеспечивается за счет считывания других кодирующих дисков, связанных с валом датчика через шестерни передачи. При обра-

ботке 12 следующих импульсных дорожек дополнительно могут кодироваться $2^{12} = 4096$ оборотов.

Инкрементальные и абсолютные датчики могут иметь различное конструктивное исполнение. Различают датчики с цельным и с полым валом. Датчики с цельным валом сопрягаются с валом вращения двигателя/механизма с помощью специальных пружинных, сильфонных или пластинчатых муфт. Датчики с полым валом насаживаются непосредственно на вал двигателя/механизма. Для тяжелых условий эксплуатации применяются датчики с усиленными подшипниковыми узлами и повышенной степенью защиты до IP68. Для контроля состояния датчиков предлагаются специальные системы диагностики, например, система ADS (Advanced Diagnostic System), разработанная компанией Leine&Linde [17]. Система позволяет отслеживать состояние всех ключевых узлов датчика и, тем самым, предупредить возможную неисправность датчика задолго до ее проявления.

Таблица 6.3

Тип	Датчик абсолютных значений с синхронным последовательным интерфейсом SSI	Датчик абсолютных значений с EnDat	Датчик абсолютных значений с Profibus-DP (EN 50170)
Рабочее напряжение на датчике	10 В до 30 В DC	5 В DC \pm 10%	10 В до 30 В DC
Потребление тока, около	180 мА многооборотный, 120 мА однооборотный	250 мА многооборотный, 180 мА однооборотный	300 мА до 100 мА (3,5 Вт)
Тактовый вход	Приемник разностных кабелей по стандарту EIA RS 485		
Выход данных	Ведущий элемент разностных кабелей по стандарту EIA RS 485		
Разрешение	12 бит однооборотный (4096 шагов) 24 бит многооборотный (4096 x 4096 шагов)	13 бит однооборотный (8192 шагов) 25 бит многооборотный (4096 x 8192 шагов)	12 бит однооборотный (4096 шагов) 24 бит многооборотный (4096 x 4096 шагов)
Вид кода			
• считывание	Gray	Gray	Gray
• перенос	Gray	Двоичный	Двоичный
Точность	$\pm 1/2$ LSB	± 60 угловых секунд	$\pm 1/2$ LSB

Выбирая датчик положения, прежде всего, необходимо правильно определить приоритеты по следующим критериям: разрешение и точность; линейность; скорость измеряемого процесса; условия применения и класс защиты; надежность; габаритные размеры; стоимость. Необходимо учесть, что датчик может определять абсолютное или относительное положение контролируемого объекта. В первом случае датчик вырабатывает сигнал, являющийся функцией положения одной из его частей, связанных с подвижным объектом, а изменения этого сигнала отражают перемещение. К таким датчикам относятся: резистив-

ные (потенциометрические) датчики; индуктивные датчики с подвижным сердечником; емкостные датчики с подвижными обкладками; цифровые кодовые датчики абсолютных значений. Во втором случае датчик генерирует единичный импульс на каждом элементарном перемещении, а положение определяется подсчетом суммы импульсов в зависимости от направления перемещения. Достоинством таких датчиков, по сравнению с абсолютными, является простота и низкая стоимость, а недостатком необходимость периодической калибровки и дальнейшей микропроцессорной обработки.

Вопросы для самопроверки

1. Назовите основные группы датчиков.
2. Расскажите о физических принципах действия датчиков.
3. Расскажите о назначении датчиков скорости (частоты вращения), угла поворота, положения (перемещения).
4. Расскажите о средствах измерения температуры и давления.
5. Расскажите об основном назначении уровнемеров и расходомеров и их основных характеристиках?
6. Назовите основные характеристики датчиков скорости (частоты вращения), датчиков угла поворота, положения (перемещения).
7. Назовите основные характеристики датчиков температуры и давления.
8. Назовите основные характеристики оптоволоконных датчиков.
9. Приведите классификацию ИП.
10. В чем заключается принцип построения ИП?
11. Что понимается под интеллектуальным датчиком и ИП?
12. Как организуются измерительные каналы в системах автоматизации и управления?

Глава 7. Технические средства приема, преобразования и передачи измерительной и командной информации по каналам связи

7.1. Общие сведения

В связи с необходимостью создания устройств, связывающих ПК с объектами управления, использующими информацию в непрерывной форме, потребовалось преобразование информации из непрерывной (аналоговой) формы в цифровую и из цифровой в непрерывную (аналоговую).

Первую группу преобразующих устройств называют аналого-цифровыми преобразователями (АЦП). Эти устройства служат для преобразования исходной аналоговой величины в соответствующий ей цифровой эквивалент – код, являющийся выходным сигналом преобразователя, т. е. такие устройства по существу являются измерительными.

Преобразование аналогового сигнала происходит в определенные моменты времени, которые называются точками отсчета. Количество отсчетов за единицу времени определяет частоту дискретизации (преобразования), которая, в свою очередь, определяется быстродействием и условиями использования АЦП. Интервал времени между отсчетами $T_{отс}$ и частота дискретизации $f_{пр}$ связаны соотношением $T_{отс} = 1/f_{пр}$.

В измерительной технике для преобразования медленно меняющихся процессов частота преобразования может быть установлена небольшой – единицы Герц и менее. В устройствах, где требуется преобразовывать сигналы в масштабе реального времени, частота преобразования выбирается из условия достижения максимальной точности восстановления цифрового сигнала в аналоговую форму. Например, преобразование речевого сигнала в дискретную форму. При этом частота дискретизации определяется как $f_{пр} = 2F_{макс}$, где $F_{макс}$ – максимальная частота речевого сигнала. Для обеспечения преобразования без искажений требуется выполнение условия $t_{пр} < T_{отс}$, где $t_{пр}$ – время преобразования АЦП одного отсчета.

Таким образом, АЦП обеспечивают квантование входной величины как по уровню, так и по времени. Обязательность квантования по уровню вытекает из самой природы цифрового представления величин, так как, какое бы большее число градаций ни было принято для изображения всех возможных значений входной величины, неизбежно округление результатов в силу того, что аналоговый сигнал может принимать бесконечное число значений.

Необходимость квантования по времени в АЦП связана с рядом причин,

одной из которых является то, что для выполнения заданного цикла вычислений необходимо определенное время, так как только после окончания заданного цикла вычислений следует вводить новые исходные данные.

Вторую группу преобразующих устройств называют цифро-аналоговыми преобразователями (ЦАП). Эти устройства необходимы для получения выходной аналоговой величины, соответствующей цифровой кодовой комбинации, поступившей на вход преобразователя. При этом аналоговая величина воспроизводится для дискретных моментов времени.

7.2. Классификация АЦП

Процесс аналого-цифрового преобразования состоит из многократного сравнения входного аналогового сигнала с набором эталонных сигналов.

Основным признаком классификации АЦП является алгоритм его работы, т. е. набор предписаний, выполняемых в процессе преобразования. Этот алгоритм отражает комплекс операций, посредством которых устанавливается численное соответствие между аналоговой величиной, поданной на вход АЦП, и выбранными эталонными мерами. Соответственно для ЦАП алгоритм отражает комплекс операций, обеспечивающих нахождение соответствия между кодом, поданным на вход ЦАП, и выходной аналоговой величиной.

Вторым по важности признаком классификации является род аналоговой величины, являющейся входной для АЦП и выходной для ЦАП. Наибольшее распространение нашли следующие виды аналоговых величин: напряжение и ток, угловое и линейное перемещения, временной интервал, фаза и частота переменного тока. В качестве цифровой величины в подавляющем большинстве случаев используется позиционный или отраженный двоичный код.

Рассмотрим классификацию АЦП по виду алгоритма преобразования. Наибольшее распространение на практике нашли три классических метода преобразования.

1. Метод последовательного счета, при котором входная аналоговая величина уравнивается суммой одинаковых и минимальных эталонов, называемых квантами. Момент равенства входной величины и суммы эталонов определяется с помощью одного сравнивающего устройства. Результат преобразования характеризуется числом квантов, используемых при преобразовании. Это число квантов представляется в виде последовательного Единичного кода и с помощью счетчика преобразуется в позиционный двоичный код (ПДК).

2. Метод поразрядного кодирования, при котором входная величина последовательно сравнивается с суммой эталонов, имеющих значение 2^i квантов, где $i = n - 1, n - 2, \dots, 2, 1, 0$ (n – число, разрядов в ПДК). Таким образом, два соседних эталона отличаются в 2 раза по значению. Уравновешивание входной величины начинается с эталона, имеющего максимальное значение. Сравнивающее устройство выполняет сравнение этого эталона со входной величиной. В зависимости от результата сравнения получается цифра в старшем разряде выходного ПДК, снимаемого с АЦП. Если эталон больше входной величины, то в старшем разряде кода ставится 0 и далее производится уравновешивание входной величины следующим эталоном в 2 раза меньшего значения. Если же первый эталон меньше (или равен) входной величины, то в старшем разряде ПДК ставится 1 и дальше производится уравновешивание разности входной величины и первого эталона. Аналогичные действия производятся для всех используемых эталонов. Следовательно, после окончания процесса преобразования входная величина будет уравновешена суммой тех эталонов, у которых в соответствующих им разрядах ПДК стоят 1. Сравнение входной величины и суммы эталонов производится с помощью одного сравнивающего устройства.

3. Метод считывания, при котором используется набор из $2^n - 1$ эталонов. При этом младший эталон равен одному кванту, следующий двум квантам и старший $2^n - 1$ квантам. Так как при этом методе преобразования входная величина одновременно сравнивается со всеми эталонами, то для осуществления такого сравнения необходимо столько сравнивающих устройств, сколько эталонов имеется в наборе, т. е. $2^n - 1$. Результат преобразования фиксируется по числу сравнивающих устройств, отметивших равенство или превышение входной величины по отношению к данному эталону. Отсюда следует, что непосредственным результатом преобразования является параллельный единичный код в виде сигналов на выходах сравнивающих устройств. Этот код далее преобразуется в выходной ПДК.

Из рассмотрения трех классических методов преобразования видно, что им соответствуют определенные наборы эталонов и фиксированное число сравнивающих устройств: многократное использование эталона, равного кванту, и одно сравнивающее устройство – для метода последовательного счета; n эталонов и одно сравнивающее устройство – для метода поразрядного кодирования; $2^n - 1$ эталонов и сравнивающих устройств – для метода считывания.

Очевидно, что при использовании других наборов эталонов и другого

числа сравнивающих устройств можно получить другие методы преобразования, а следовательно, и другие структуры АЦП.

Известен еще ряд признаков, по которым производится классификация АЦП, например наличие промежуточного преобразования исходной аналоговой величины в какую-либо другую, более удобную для выполнения преобразования; характер предварительной обработки входной величины и др.

Таким образом по принципу дискретизации и структуре построения АЦП делятся на две группы: 1 – группа АЦП с применением ЦАП и 2 – группа АЦП без ЦАП. К первой группе относятся: АЦП последовательного счета (развёртывающего типа); АЦП последовательного приближения (поразрядного уравнивания); следящий АЦП.

К второй группе относятся: АЦП прямого преобразования; АЦП двойного интегрирования; АЦП с применением генератора, управляемого напряжением (ГУН).

Каждый тип АЦП имеет свои достоинства и недостатки. На практике встречаются все выше перечисленные типы АЦП.

Существует возможность использования разомкнутой и замкнутой схем. В АЦП, построенных по разомкнутой схеме, нет цепи обратной связи, охватывающей весь преобразователь. В этих АЦП входная величина с помощью одного или нескольких сравнивающих устройств сравнивается с набором эталонов, выработанных внутри АЦП. Результаты этого сравнения и являются основанием для выработки выходного ПДК.

В АЦП, построенных по замкнутой схеме, происходит сравнение входной величины и выходного сигнала ЦАП, включенного в цепь обратной связи. Устройство сравнения кодов управляет, значением аналоговой величины, поданной на вход АЦП и одновременно являющейся выходной величиной для ЦАП. Преобразование будет закончено, когда аналоговая величина будет соответствовать входному коду.

7.3. Основные параметры АЦП

Характеристики АЦП можно разбить на ряд групп: 1) точностные; 2) временные; 3) надёжностные; 4) обобщенные стоимостные.

Конкретный набор и вид используемых характеристик или параметров зависит от типа АЦП, его назначения и области применения. Так, например, в качестве точностных характеристик могут использоваться: число достоверных двоичных разрядов n на выходе АЦП, относительная погрешность и др.

Временные характеристики или параметры в той или иной форме определяют быстродействие АЦП. Различают три временные характеристики АЦП:

а) период квантования T_k , т. е. интервал между двумя последовательными преобразованиями (величину, обратную периоду квантования, называют частотой квантования $f_k = 1/T_k$);

б) длительность цикла преобразования $T_{ц}$, определяющую задержку между моментом подачи входной величины на АЦП и моментом выдачи кода;

в) время преобразования $T_{пр}$, т.е. временной интервал, в течение которого входной сигнал непосредственно взаимодействует с АЦП. В первом приближении можно считать, что вне интервала $T_{пр}$ входная величина не оказывает влияния на результаты преобразования. При более строгой оценке $T_{пр}$ следует учитывать структуру АЦП и характер входного сигнала.

Кроме указанных временных параметров разработчиков иногда интересует характер переходного процесса в АЦП.

Надежностные характеристики и параметры оценивают способность АЦП к работе под воздействием различных дестабилизирующих факторов (времени, температуры, влажности и др.). В качестве параметров надежности могут быть взяты самые различные величины (интенсивность отказов; время наработки на отказ и др.).

Выбор основных параметров АЦП (частоты квантования f_k и числа разрядов n) следует производить в соответствии с результатами предварительного вычисления потерь на выходе системы, обусловленных этими параметрами.

7.4. Сравнительные характеристики АЦП

Наибольшим быстродействием обладают АЦП прямого преобразования. Время преобразования $t_{пр}$ достигает 10...20 нсек. Они используются для преобразования сигналов сверх быстро протекающих процессов и сигналов телевизионного изображения (цифровое телевидение). Они отличаются высокой стоимостью и большой потребляемой мощностью. Функциональная схема АЦП прямого преобразования приведена на рис. 7.1. Она содержит 2^n компараторов, делитель опорного напряжения и преобразователь позиционного кода в параллельный двоичный код. Промышленностью выпускаются 4, 6, 8 – разрядные АЦП прямого преобразования. Время преобразования этих АЦП определяется исключительно только временем распространения сигнала в компараторах $t_{здр}$ и преобразователе кодов $t_{здпр}$, т.е. $t_{пр} = t_{здр} + t_{здпр}$.

По своему быстродействию на втором месте находятся АЦП последова-

тельного приближения (рис. 7.2). Время преобразования n – разрядного АЦП определяется как $t_{пр} = nT + 3T$, где T – период следования тактовых импульсов, соответствующий времени выборки одного кванта. Дополнительные 3 такта используются для старта (запуска) и формирования сигналов признака завершения процесса преобразования (сигнала "конец преобразования").

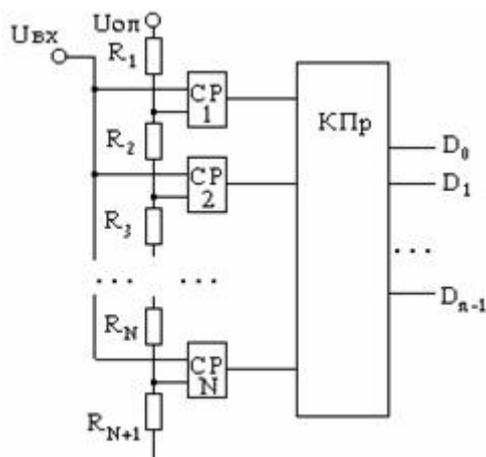


Рис. 7.1. Функциональная схема АЦП прямого преобразования:
 $CP_1 \dots CP_N$ – сравнивающие устройства (компараторы); $R_1 \dots R_N$ – резисторы делителя опорного напряжения; N – число ступеней квантования ($N=2^n$)

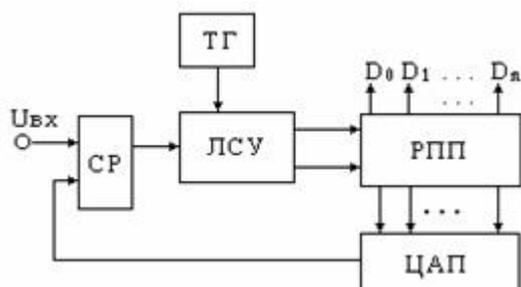


Рис. 7.2. Функциональная схема АЦП последовательного приближения:
 CP – компаратор напряжения; $ТГ$ – тактовый генератор; $ЛСУ$ – логическая схема управления; $РПП$ – регистр последовательного приближения

Принцип работы АЦП последовательного приближения иллюстрируется на рис. 7.3. После запуска, на выходе АЦП устанавливается число, соответствующее половине напряжения полной шкалы $U_{пш}/2$. Это напряжение сравнивается с входным напряжением $U_{вх}$ и, в зависимости от результата сравнения, компаратор вырабатывает два сигнала: U_1 , когда $U_{вых \text{ ЦАП}} > U_{вх}$ и U_2 при $U_{вых \text{ ЦАП}} < U_{вх}$. Если $U_{вых \text{ ЦАП}}$ меньше, чем $U_{вх}$, ЛСУ вырабатывает команду, при которой к содержимому регистра последовательного приближения РПП прибавляется число, соответствующее половине напряжения, установленного в предыдущем такте. Если же $U_{вых \text{ ЦАП}} > U_{вх}$, то из содержимого РПП это число вычи-

тается (см. рис. 7.3). Это происходит до тех пор, пока напряжение приращения не станет равным $DU_{\text{кв}}$, т.е. $U_n = DU_{\text{кв}} = U_{\text{пш}}/2^n$.

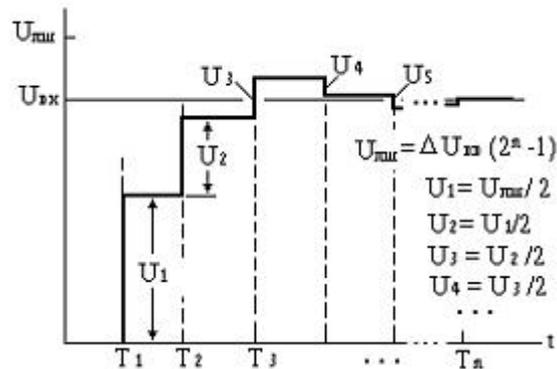


Рис. 7.3. Диаграмма выходного напряжения ЦАП, соответствующая десятичному эквиваленту выходного двоичного кода АЦП

Наибольшим временем преобразования (среди АЦП с использованием ЦАП) обладает АЦП последовательного счета $t_{\text{пр}} = 2^n T$. Они проще в изготовлении и имеют наименьшую стоимость. Погрешность преобразования таких АЦП определяется, в основном, погрешностью ЦАП и может быть доведена до значений прецизионных преобразователей. АЦП последовательного счета переводит аналоговый сигнал в цифровой последовательно, начиная с младшего значащего разряда до цифрового кода на выходе, соответствующего уровню входного аналогового напряжения АЦП. Структурная схема такого АЦП приведена на рис. 7.4, а.

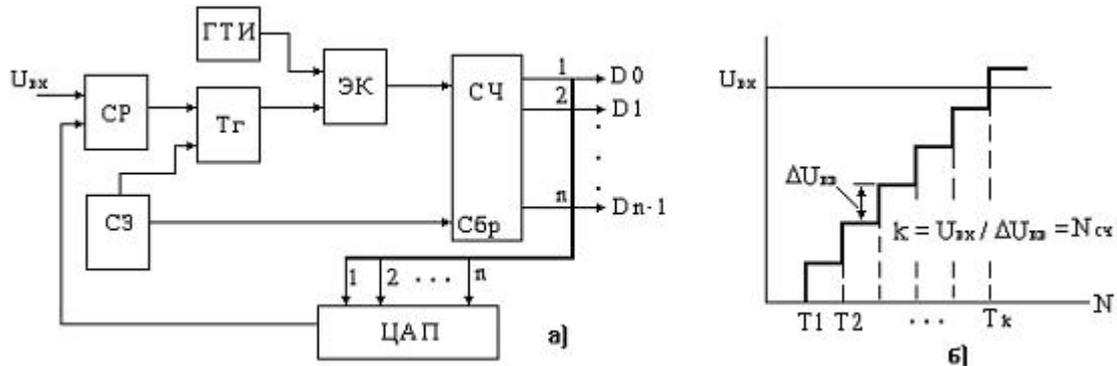


Рис. 7.4. АЦП последовательного счета (а) и его временная диаграмма (б)

С генератора тактовых импульсов через электронный ключ ЭК, который открывается в момент выборки входного аналогового сигнала схемой запуска (СЗ), последовательность импульсов поступает на n – разрядный двоичный счетчик (СЧ). Выход счетчика является выходом АЦП и одновременно управляет схемой ЦАП, вырабатывающей ступенчато нарастающее напряжение (см.

рис. 7.4, б). В момент, когда выходное напряжение ЦАП станет равным входному, компаратор (СР) вырабатывает сигнал, опрокидывающий триггер (ТГ). При этом, сигнал с выхода триггера закрывает электронный ключ и остановит счетчик. Содержание счетчика $N_{сч}$ после его остановки будет соответствовать числу, определяемому входным аналоговым сигналом $N_{сч} = U_{вх}/DU_{кв}$.

Наибольшее число в счетчике соответствует входному напряжению, равному $U_{пш}$. При этом $N_{сч} = 2^n$.

АЦП двойного интегрирования (интегрирующий АЦП). Способ двойного интегрирования позволяет хорошо подавлять сетевые помехи.

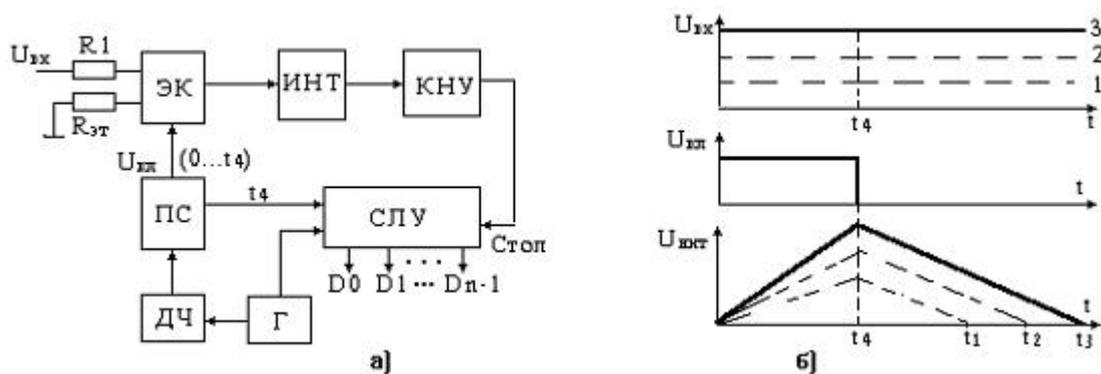


Рис. 7.5. АЦП двойного интегрирования:

а – функциональная схема; ЭК – электронный ключ; ПС – пороговая схема; ДЧ – делитель частоты; Г – генератор; СЛУ – счетно-логическое устройство; ИНТ – интегратор; КНУ – компаратор нулевого уровня; б – временные диаграммы

На рис. 7.5 приведена функциональная схема АЦП двойного интегрирования. Работа его заключается в следующем. Счетчик запускается от генератора тактовых импульсов в момент поступления на интегратор входного сигнала $U_{вх}$, из которого за время интегрирования делается выборка. За время выборки напряжение на выходе интегратора $U_{вых}$ и увеличивается. В момент $t_и$ прямое интегрирование заканчивается, входной сигнал от интегратора отключается и к его суммирующей точке подключается эталонный резистор. От времени $t_и$ до моментов $t_1 \dots t_3$ продолжается разряд конденсатора интегратора с постоянной скоростью. Интервалы времени от $t_и$ до нулевых отметок ($t_1 \dots t_3$) пропорциональны уровню входного сигнала. Существенным преимуществом преобразователя является простота компенсации наводок сети промышленного питания.

АЦП двойного интегрирования относится к наиболее медленно работающим преобразователям. Однако, высокая точность, низкий уровень шумов и низкая стоимость делают их незаменимыми для применения в щитовых прибо-

рах, мультиметрах, цифровых термометрах и т.п. Этому способствует также то, что результаты преобразования в интегрирующих АЦП часто представляются в десятичном коде или же в удобном виде для представления цифр десятичной системы счисления.

АЦП с применением ГУН, получивших название преобразователей напряжение - частота, обладают средним временем преобразования и используются, преимущественно, в измерительных системах, например, в системах измерения скорости и торможения автомобилей, измерения ухода частоты несущей в системах связи, высокоточных накопителях информации, помехоустойчивых системах передачи данных, фильтрах и др.

В табл. 7.1 приведены основные параметры наиболее популярных АЦП.

Таблица 7.1

Тип микросхемы	n	$\delta_{\text{дф.лн}}$, % (МЗР)	$t_{\text{пр}}$, мкс	$U_{\text{ип}}$, В	$U_{\text{оп}}$, В	$U_{\text{вх}}$, В	$I_{\text{пот}}$, мА
K572ПВ1А	12	0,0488	170	5, 15	± 15	10	5
KP572ПВ2	3, 5	$(\pm 1 \dots \pm 5)$	10^5	± 5	0,1...3	± 2 ,	1,8
K1113ПВ1	10	(2)	30	5, -15	± 10	10,24	28
K572ПВ4	8	(0,5)	32	5	0... $\pm 2,5$	2,5	3
KP572ПВ5	3, 5	(± 1)	-	± 5	-	± 2	1,5
K1107ПВ1	6	0,78	0,1	+5; -6	-2	0...-2	200
K1107ПВ2	8	0,3	0,1	+5; -6	-2	0...-2	450
K1107ПВ3	6	0,19	0,02	+; -5,2	$\pm 2,5$	$\pm 2,5$	100
K1107ПВ4	8	0,38	0,03	+5; -5,2	$\pm 2,5$	$\pm 2,5$	450

7.5. Цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП)

7.5.1. Общие сведения

ЦАП служит для преобразования цифровой информации в аналоговую форму, т.е. выходной сигнал ЦАП в общепринятых единицах измерения тока или напряжения (мВ, В, мА) соответствует численному значению входной кодовой комбинации.

Например, при подаче на вход ЦАП кодовой комбинации (в десятичном эквиваленте) равной 150 на его выходе при этом имеется напряжение 1500 мВ, это значит, что изменение значения входной кодовой комбинации (входного числа) на единицу приводит к изменению выходного напряжения на 10 мВ. В этом случае мы имеем ЦАП с шагом преобразования цифровой информации 10 мВ. Величина напряжения, соответствующая одной единице цифровой информации, называется шагом квантования $Du_{\text{кв}}$. При подаче на вход ЦАП последовательной цифровой комбинации, меняющейся от 0 до N, на его выходе появ-

вится ступенчато-нарастающее напряжение (рис. 7.6). Высота каждой ступени соответствует одному шагу квантования $Du_{\text{кв}}$.

Если число входной кодовой комбинации соответствует N (число, соответствующее десятичному эквиваленту двоичного кода), то выходное напряжение $U_{\text{вых ЦАП}} = N Du_{\text{кв}}$. Таким образом можно вычислить значение выходного напряжения для любой входной кодовой комбинации. Нетрудно убедиться в том, что $Du_{\text{кв}}$ является масштабным коэффициентом преобразователя, имеющим размерность тока или напряжения (так как цифровая комбинация на входе ЦАП размерности не имеет). Обычно, значение $Du_{\text{кв}}$ выбирают кратным десяти, что облегчает процесс пересчета соответствия преобразованного и исходного сигналов.

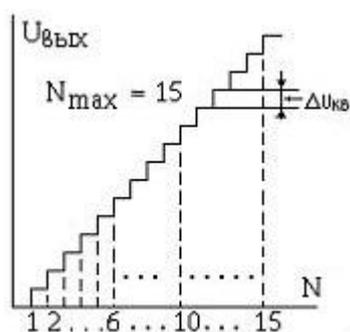


Рис. 7.6. Диаграмма выходного напряжения ЦАП

Так как $Du_{\text{кв}}$ определяет минимальное значение выходного напряжения аналогового сигнала $U_{\text{вых мин.}} = Du_{\text{кв}}$, при выборе его значения необходимо учитывать также шумовые факторы, погрешности усиления масштабирующих усилителей и компаратора.

7.5.2. Основные параметры ЦАП

Точность преобразования и качество работы ЦАП характеризуют следующие параметры: относительная разрешающая способность, абсолютная разрешающая способность, абсолютная погрешность преобразования, нелинейность преобразования, дифференциальная нелинейность, скорость преобразования (время одного преобразования) и максимальная частота преобразования.

1. Относительная разрешающая способность $d_o = 1/(2^n - 1)$, где n – количество разрядов двоичного числа, подаваемого на вход АЦП (n – соответствует числу разрядных входов ЦАП). Относительная разрешающая способность – это обратная величина от максимального числа уровней квантования.

2. Абсолютная разрешающая способность $d_a = U_{\text{пш}}/(2^n - 1) = DU_{\text{кв}}$, где $U_{\text{пш}}$

– напряжение полной шкалы, соответствующее опорному напряжению ЦАП. Это напряжение можно считать равным максимальному выходному напряжению; $2^n - 1 = N$ – количество ступеней квантования. Численно абсолютная разрешающая способность равна шагу квантования $DU_{\text{кв}}$.

3. Абсолютная погрешность преобразования $d_{\text{пш}}$ показывает максимальное отклонение выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ в точке пересечения с идеальной характеристикой (прямой) на уровне напряжения полной шкалы (рис. 7.7). Абсолютная погрешность преобразования оценивается в процентах или же в единицах младшего значащего разряда (МР). При оценке значения абсолютной погрешности преобразования знак напряжения не учитывается.

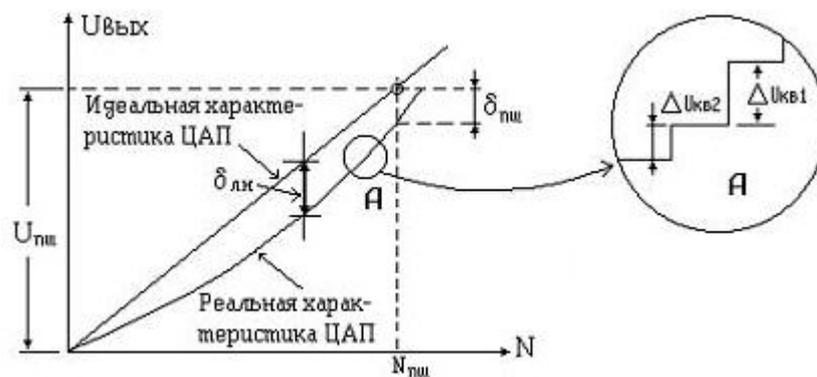


Рис. 7.7. Пояснения к определению погрешностей преобразования ЦАП

4. Нелинейность преобразования ЦАП $d_{\text{лн}}$ определяет максимальное отклонение реальной характеристики от идеальной (рис. 7.7) и оценивается также в процентах или в единицах младшего значащего разряда.

5. Дифференциальная нелинейность преобразования ЦАП $d_{\text{дф.лн}}$ численно равна максимальной разности двух соседних приращений (шагов квантования) $d_{\text{дф.лн}} = DU_{\text{кв}1} - DU_{\text{кв}2}$. Дифференциальная нелинейность оценивается в младших значащих разрядах и обычно не превышает нескольких единиц мр. Младший значащий разряд численно определяет минимальное значение выходного напряжения, т.е. квант напряжения. Для оценки дифференциальной нелинейности $d_{\text{дф.лн}}$ в процентах можно воспользоваться выражением

$$\delta\% = \frac{\delta_{\text{мр}} \cdot \Delta u_{\text{кв}}}{U_{\text{пш}}} \cdot 100\%$$

Время установления выходного напряжения или тока $t_{\text{уст}}$ – интервал времени от подачи входного двоичного входного кода до вхождения выходного сигнала в заданные пределы. Максимальная частота преобразования $f_{\text{пр}}$ – наи-

большая частота дискретизации, при которой параметры ЦАП соответствуют заданным значениям. Максимальная частота и время установления определяют быстродействие ЦАП.

Виды ЦАП условно можно разделить на две группы: с резисторными матрицами, безматричные ЦАП. В интегральном исполнении применяются только ЦАП с прецизионными резисторными матрицами, формирующими выходные сигналы путем суммирования токов.

ЦАП содержит элементы цифровой и аналоговой схемотехники. В качестве аналоговых элементов используются операционные усилители, аналоговые ключи (коммутаторы), резисторные матрицы и т.д. Аналоговые элементы, входящие в состав ЦАП, практически полностью определяют его качественные и эксплуатационные параметры, основную роль при этом играют точность подбора номиналов резисторов резисторной матрицы и параметров операционного усилителя (ОУ). Операционный усилитель представляет собой усилитель постоянного тока, имеющий коэффициент усиления по напряжению более тысячи. Свойство ОУ суммировать входные токи с последующим преобразованием в напряжение широко используется при построении ЦАП и АЦП. На базе ОУ можно построить компараторы напряжения (сравнивающие устройства).

При использовании ОУ в качестве компаратора напряжения на один его вход подается опорное напряжение $U_{оп}$, на второй – напряжение обрабатываемого (преобразуемого) сигнала U_x . При соответствующих условиях на выходе компаратора формируется сигнал логической "1", если $(U_{оп} - U_x) > DU_{кв}$, и логического "0", если $(U_{оп} - U_x) < DU_{кв}$. Шаг квантования $DU_{кв}$ обычно выбирается в пределах 5...10 мВ. Значение опорного напряжения и время установки компаратора зависят от конкретного типа используемой интегральной микросхемы и условий его эксплуатации.

При построении ЦАП и АЦП применяются аналоговые ключи, коммутирующие цепи аналоговых сигналов под воздействием управляющих цифровых сигналов. Токи, коммутируемые электронными аналоговыми ключами, не превышают 10...50 мА. Относительно высокое сопротивление открытого ключа (50...600 Ом) требует наличия высокоомной нагрузки, что обеспечивается высокоомным входным сопротивлением ОУ.

При реализации ЦАП в интегральном исполнении большие трудности вызывает подгонка высокоточных резисторов с сопротивлениями, отличающимися по номиналам друг от друга на несколько порядков. Поэтому, в инте-

гральном исполнении применяются исключительно резистивная матрица R–2R. В качестве примера рассмотрим четырехразрядный ЦАП, использующий схему суммирования токов на ОУ (рис. 7.8).

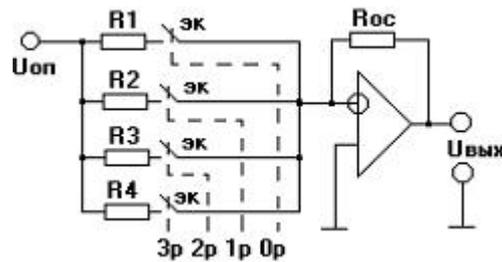


Рис. 7.8. Схема простейшего ЦАП. ЭК – электронные ключи; 0p, 1p, 2p, 3p – соответствующие разряды цифровых входов управления

Относительная разрешающая способность рассматриваемого ЦАП:

$$d_0 = 1/(2^n - 1) = 0,0625.$$

Абсолютная разрешающая способность определяется при известном значении опорного напряжения $U_{оп}$. Наиболее удобными значениями $U_{оп}$ являются напряжения, кратные степени двойки, т.е. 10,24 В, 5,12 В, 2,56 В и т.д. Если принять значение опорного напряжения равным 10,24 В, то абсолютная разрешающая способность ($DU_{кв}$) определяется как $DU_{кв} = 0,0625 \times 10,24 = 0,625$ В. Сопротивление резистора в цепи ключа, управляемого старшим разрядом двоичного кода, должно быть в два раза больше сопротивления резистора обратной связи $R_{ос}$. Сопротивление каждого последующего младшего разряда в два раза больше, чем сопротивление соседнего старшего разряда. Отсюда следует, что с увеличением количества разрядов цифровых входов ЦАП резко увеличивается соотношение сопротивлений резисторов нулевого и самого старшего разрядов ($R_0 = 2^n R_n$): $R_0/R_n = 2^n = T$. Если $n = 8$, то это отношение составляет 256. Увеличение T может привести к чрезмерному увеличению сопротивления резистора младшего разряда или же к сильному уменьшению номинала резистора самого старшего разряда. Поэтому ЦАП с резистивной матрицей R–2ⁿR применяется при небольшом количестве разрядов (при $n < 8$). При больших T затруднительным становится также изготовление резистивных матриц в интегральном исполнении. Известно, что номиналы резисторов в интегральном исполнении не должны превышать 50...100 кОм. Поэтому, в ЦАП, выполненных по интегральной технологии, в основном применяются резистивные матрицы R–2R. Функциональная схема ЦАП с матрицей R–2R показана на рис. 7.9.

Чтобы выполнить условие формирования выходного напряжения в соот-

ветствии с двоичным кодом входного числа, необходимо получить равенство $R_{oc} = R$, тогда

$$U_{\text{выхЦАП}} = U_{\text{оп}} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \dots + \frac{1}{2^n} \right).$$

Дробные члены суммы играют роль весовых коэффициентов, а шаг квантования определяется отношением $DU_{\text{кв}} = U_{\text{оп}}/2^n$. На рис. 7.9 символы "0" и "1" перед электронными ключами показывают на состояние ключа при подаче на цифровые входы ЦАП логического "0" или "1", соответственно.

Промышленностью ЦАП выпускаются в виде интегральных микросхемы и содержат в своем составе резистивную матрицу R–2R, электронные ключи и резистор обратной связи R_{oc} . Для подключения токосуммирующего операционного усилителя имеются специальные выводы. Схема десятиразрядного ЦАП, построенного на базе ИМС К572ПА1, показана на рис. 7.10.

Напряжение на выходе ЦАП (рис. 7.9) определяется как:

$$U_{\text{выхЦАП}} = \left(U_{\text{оп}} \frac{R_{oc}}{2R} + \frac{U_{\text{оп}}}{2} \frac{R_{oc}}{2R} + \frac{U_{\text{оп}}}{4} \frac{R_{oc}}{2R} + \dots + \frac{U_{\text{оп}}}{2^n} \frac{R_{oc}}{2R} \right) =$$

$$= \frac{R_{oc}}{R} \left(\frac{U_{\text{оп}}}{2} + \frac{U_{\text{оп}}}{2 \cdot 2^1} + \dots + \frac{U_{\text{оп}}}{2 \cdot 2^n} \right).$$

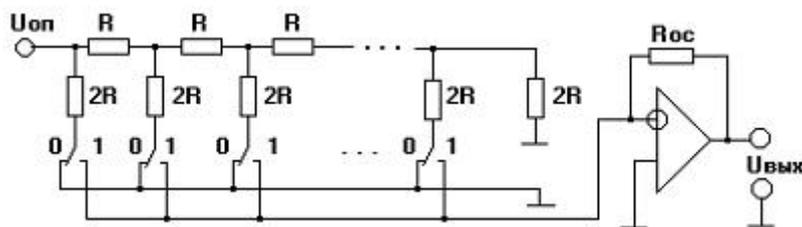


Рис. 7.9. Схема ЦАП с резистивной матрицей R–2R

ЦАП типа К572ПА1 может управляться кодом, полученным с выходов дискретных интегральных схем типов КМОП и ТТЛ. В последнем случае выходные уровни, соответствующие сигналам уровня логической "1", должны быть повышены путем соединения выходов ТТЛ инверторов с источником питания 5 В через резисторы сопротивлением 2...10 кОм. Непосредственное согласование входных управляющих уровней ЦАП с параметрами сигналов ТТЛ – схем можно достичь путем уменьшения напряжения питания ЦАП до 5 В. Однако при этом возрастает погрешность ЦАП.

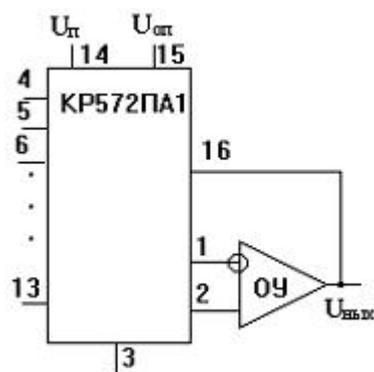


Рис. 7.10. Схема ЦАП на микросхеме КР572ПА1

Основные параметры наиболее широко используемых ЦАП приведены в табл. 7.2. В табл. 7.2 использованы следующие обозначения: n – число разрядов управляющего кода; $t_{уст}$ – время установления выходного напряжения; $I_{вых}$ – максимальный выходной ток; $\delta_{нл}$ – нелинейность преобразования ЦАП; $U_{п}$ – напряжение питания; $U_{оп}$ – опорное напряжение.

Таблица 7.2

Тип микросхемы	n	$t_{уст}$, мкс	$\delta_{нл}$, %	$U_{п}$, В	$U_{оп}$, В
КР572ПА1	10	5	0,1...0,8	+5...17	10,24
КР572ПА2	12	15	0,02...0,1	+5; +15	10,24
К594ПА1	12	3,5	0,02	-15	10,24
К1108ПА1	12	0,4	0,02	+5; -5	10,24
К417ПА1	13	15	0,02*	± 5 ; 15; 12	9...11
К417ПА2	13	15	0,02*	± 5 ; 15; 12	10

* Для группы Б – 0,1; для группы В – 0,3.

Вопросы для самопроверки

1. Назовите основное назначение цифровых средств обработки информации в системах автоматизации и управления.
2. Приведите классификацию аналого-цифрового преобразования.
3. Расскажите о принципе работы АЦП.
4. Охарактеризуйте основные характеристики АЦП.
5. Приведите классификацию ЦАП.
6. Расскажите о принципе работы ЦАП.
7. Перечислите методы повышения точности АЦП и ЦАП.

Глава 8. Устройства связи ПК с объектом управления в АСУ ТП

8.1. Общие сведения

Устройства связи с объектом (УСО) включают в себя устройства передачи сигналов от датчиков АСУ ТП (коммутаторы аналоговых и цифровых сигналов, АЦП, устройство приема цифровой информации) и устройства передачи команд управления на исполнительные устройства АСУ ТП (коммутатор цифровых управляющих сигналов, ЦАП) [12]. В УСО также входят устройства борьбы с помехами, а также устройства, подтверждающие достоверность информации и фиксирующие контроль правильности выполнения команд управления. Эта группа устройств реализуется либо специальными каналами передачи информации, либо входит в состав указанных устройств.

Обмен информацией между отдельными устройствами ПК осуществляется через интерфейсы. Интерфейсы системы связи рассчитаны на выполнение команд обмена данными между устройствами в цифровой форме и содержат для этого необходимый состав цепей.

8.2. Интерфейсы систем автоматизации и управления

8.2.1. Интерфейсы. Основные понятия и определения

Создание современных средств вычислительной техники связано с задачей объединения в единый комплекс различных блоков ЭВМ, устройств хранения и отображения информации, измерительных приборов, устройств для связи с объектом (УСО), аппаратуры передачи данных и непосредственно ЭВМ. Эта задача возлагается на унифицированные системы сопряжения – интерфейсы [9, 11]. Термин "интерфейс" обычно трактуется как синоним слова "сопряжения" и понимается как совокупность схмотехнических средств, обеспечивающих непосредственное взаимодействие составных элементов устройства, системы. Нередко это определение используется для обозначения составных компонентов интерфейса. В одних случаях под интерфейсом понимают программные средства, обеспечивающие взаимодействие программ операционной системы, в других – устройства сопряжения, обеспечивающие взаимосвязь между составными функциональными блоками или устройствами системы. Для акцентирования внимания на комплексном характере интерфейса используются термины "интерфейсная система", "программный интерфейс", "физический интерфейс", "аппаратный интерфейс", и т.п.

Под стандартным интерфейсом понимается совокупность унифицированных аппаратных, программных и конструктивных средств, необходимых для реализации взаимодействия различных функциональных элементов в автоматических системах сбора и обработки информации при условиях, предписанных стандартом и направленных на обеспечение информационной, электрической и конструктивной совместимости указанных элементов. Структурная схема интерфейса показана на рис. 8.1.

Средства интерфейса обеспечивают совместную работу независимых разнородных функциональных блоков системы. Условно ИБ можно разделить на две части [9]: часть, обращенная к ФБ и учитывающая его специфику, и часть, поддерживающая взаимодействие с другими устройствами в рамках требований интерфейса.

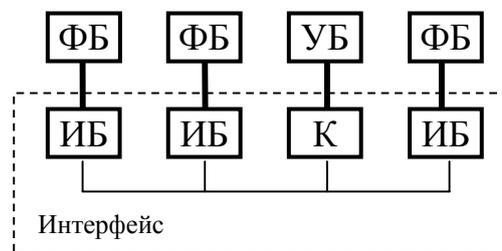


Рис. 8.1. Структурная схема интерфейса: ФБ – функциональный блок, К – контроллер, УБ – управляющий блок, ИБ – интерфейсный блок

Проектирование интерфейсов выполняется на основе четырех основных взаимосвязанных принципов: группового, агрегатирования, унификации, взаимозаменяемости.

Принцип группового проектирования заключается в создании ряда (семейства) функционально и конструктивно подобранных устройств (модулей, систем) определенного назначения, соответствующих разнообразным условиям их использования. Основная задача группового проектирования – достижение максимальной универсальности и совместимости ЭВМ, вычислительных комплексов (ВК) внутри проектируемого ряда. Примером эффективного использования принципа группового проектирования являются разработки IBM PC – техники, Macintosh Apple .

Принцип агрегатирования (модульного построения) состоит в рациональном разделении системы, устройства на совокупность более простых функционально и конструктивно законченных блоков (модулей) с целью совершенствования их технических характеристик, а также обеспечения высокопроизводи-

тельных способов производства и обслуживания.

Принцип унификации заключается в минимизации номенклатуры составных узлов, блоков устройства, модулей связей между ними при условии рациональной компоновки и эффективного функционирования устройства или системы. Интерфейс можно рассматривать как практический пример унификации связей и устройств составных элементов ЭВМ и систем.

Принцип взаимозаменяемости основывается на способности модуля выполнять в устройстве различные установочные функции без дополнительной конструкторской доработки. Взаимозаменяемость является следствием процесса унификации. Эта характеристика определяет степень универсальности устройства.

Эффективное использование рассмотренных принципов проектирования при разработке и внедрении интерфейсов и устройств сопряжения позволяет: организовать крупносерийное производство; повысить качество; сократить сроки изготовления; снизить стоимость производства, отладки и эксплуатации; осуществить преемственность технических решений и удлинить сроки морального старения средств ВТ.

Основным назначением интерфейса является унификация внутрисистемных и межсистемных связей и устройств сопряжения с целью эффективной реализации прогрессивных методов проектирования функциональных элементов вычислительных систем.

Качество стандарта на интерфейс может быть оценено соотношением, устанавливаемым между ограничениями на реализацию интерфейса и устройств сопряжения и возможностями варьирования тех или иных технических характеристик интерфейса с целью наиболее эффективного приспособления его к конкретной системе. Слишком жесткая регламентация условий совместимости ограничивает область применения интерфейса или же вызывает неоптимальное его использование. Однако при этом упрощается задача проектирования устройств сопряжения. В противоположном случае увеличивается вероятность несовместимости интерфейсного оборудования, разрабатываемого различными производителями.

Жесткая зависимость интерфейсов от архитектурных особенностей ЭВМ является одной из причин, препятствующих унификации многочисленных модификаций интерфейсов. Однако на определенном этапе развития технологии тенденция сохранения интерфейса снижает эффективность использования

средств ВТ и возможность внедрения новых принципов построения ЭВМ и систем на их основе.

Опыт показывает, что унификация и стандартизация наиболее широко применяемых интерфейсов дают значительный экономический эффект. Этот эффект достигается в сфере производства (сокращение номенклатуры изделий, увеличение объемов партий изделий и пр.), при проектировании и эксплуатации систем.

Современные темпы развития микроэлектронной технологии, а также тенденции и практика построения микропроцессорных систем в настоящее время определили следующие направления развития интерфейсов:

1. Дальнейшее повышение уровня унификации интерфейсного оборудования и стандартизации условий совместимости существующих наиболее распространенных интерфейсов на основе обобщения опыта их широкого использования. Это совершенствование направлено на создание новых стандартных интерфейсов или на повышение уровня стандартизации существующих.

2. Модернизация и расширение функциональных возможностей существующих интерфейсов без нарушения условий совместимости благодаря новейшим достижениям в микроэлектронной технологии и технологии разработки средств передачи информации. Основная цель этого направления—удлинение сроков морального старения стандартных интерфейсов и расширение области их применения.

3. Создание принципиально новых интерфейсов и разработка требований на их унификацию и стандартизацию. Эта тенденция обусловлена в первую очередь разработкой систем с параллельно распределенной обработкой информации на основе качественно новых принципов организации вычислительного процесса, а также интегрированных распределенных систем.

8.2.2. Классификация интерфейсов

В настоящее время не существует достаточно полной объективной классификации интерфейсов. Имеющиеся классификации основываются, как правило, на одном классификационном признаке или же строятся для одного класса интерфейсов. Определенным обобщением этих классификаций является стандарт на классификационные признаки интерфейсов (ГОСТ 26.016-81), включающий четыре признака классификации:

- 1) способ соединения компонентов системы (магистральный, радиальный, цепочечный, смешанный);

При магистральном способе имеются коллективные шины, к которым подключены все устройства системы. Характерно, что сигналы шины доступны всем устройствам, но в каждый момент времени только два устройства могут обмениваться данными (1:1). Возможны также широковещательные операции (1:M).

В системе с радиальной структурой имеется центральное устройство (контроллер или концентратор), связанный с каждым из абонентов индивидуальной группой однонаправленных линий.

При цепочечной структуре каждое устройство связано не более чем с двумя другими. Частным случаем цепочечной структуры является кольцевая.

2) способ передачи информации (параллельный, последовательный, параллельно-последовательный);

3) принцип обмена информацией (асинхронный, синхронный);

4) режим обмена информацией (симплексный; полудуплексный; дуплексный и мультиплексный режим обмена).

Для случая связи двух абонентов в симплексном режиме лишь один из двух абонентов может инициировать в любой момент времени передачу информации по интерфейсу. Для случая связи двух абонентов в полудуплексном режиме любой абонент может начать передачу информации другому, если линия связи интерфейса при этом оказывается свободной. Для случая связи двух абонентов в дуплексном режиме каждый абонент может начать передачу информации другому в произвольный момент времени. В случае связи нескольких абонентов в мультиплексном режиме в каждый момент времени связь может быть осуществлена между парой абонентов в любом, но единственном направлении от одного из абонентов к другому.

Указанные признаки позволяют характеризовать только определенные аспекты организации интерфейсов. Более полная характеристика и систематизация интерфейсов могут быть выполнены при условии классификации по нескольким совокупностям признаков: 1) области распространения (функциональному назначению); 2) логической и функциональной организации; 3) физической реализации.

В соответствии с первой совокупностью признаков интерфейсы можно разделить на следующие основные классы: 1) машинные (или системные); 2) периферийного оборудования; 3) мультимикропроцессорных систем; 4) рас-

пределенных ВС (вычислительных локальных сетей, распределенных систем управления).

Машинные интерфейсы предназначены для организации связей между составными компонентами ЭВМ, ВК, ВС, т. е. непосредственно для их построения и связи с внешней средой.

Интерфейсы периферийного оборудования выполняют функции сопряжения процессоров, контроллеров с УВВ, измерительными приборами, исполнительными механизмами, аппаратурой передачи данных (АПД) и внешними запоминающими устройствами (ВЗУ). Интерфейсы периферийного оборудования представляют самый большой класс систем сопряжения, что объясняется широкой номенклатурой и разнообразием периферийного оборудования. По своему функциональному назначению эти интерфейсы могут быть разделены на группы интерфейсов радиальной структуры (обеспечивающие схему сопряжения "точка-точка") и магистральной структуры (обеспечивающие схему "многоточечного" подключения).

Системы сопряжения первой группы составляют в основном так называемые малые интерфейсы, применяемые для сопряжения исполнительных механизмов ввода-вывода с контроллерами. К этим интерфейсам относятся: системы сопряжения с параллельной передачей информации, предназначенные для подключения стандартной периферии, системы сопряжения для подключения устройств, размещенных на большом удалении друг от друга.

Интерфейсы второй группы используются как самостоятельно, так и в качестве системотехнического дополнения, расширяющего функциональные возможности ЭВМ на уровне связи с объектом управления. К ним относятся магистральные интерфейсы программно-модульных систем типов ИЕС 625-1. Эти интерфейсы обеспечивают сопряжение программируемых контроллеров и ЭВМ с широким спектром цифровых измерительных приборов, преобразователей информации, генераторов, датчиков, пультов оператора. В вычислительных системах к такого рода интерфейсам относятся SCSI, USB.

Интерфейсы мультимикропроцессорных систем представляют собой в основном магистральные системы сопряжения, ориентированные на объединение в единый комплекс нескольких процессоров, модулей оперативных запоминающих устройств (ОЗУ), контроллеров ВЗУ, ограниченно размещенных в пространстве. В группу интерфейсов мультимикропроцессорных систем входят в основном внутриблочные, процессорно – независимые системы со-

пряжения. Характерным их отличием от обычных магистральных интерфейсов является техническая реализация функций селекции и координации, что позволяет подключать к ним один или несколько процессоров как обычные УВВ. Этот класс интерфейсов отличают высокая пропускная способность и минимальное время доступа процессора к общей ОЗУ.

Данный класс систем сопряжения может быть разделен на две крупные группы в соответствии со структурой шин адреса и данных: с отдельными и мультиплексными шинами. Как правило, эти интерфейсы представляют собой внутриблочную систему сопряжения магистральной структуры с высокой пропускной способностью.

Интерфейсы распределенных ВС предназначены для интеграции средств обработки информации, размещенных на значительном расстоянии и ориентированы на использование в системах различного функционального назначения. Обычно это системы сопряжения с бит – последовательной передачей информации магистральной или кольцевой структуры. Этот класс интерфейсов в зависимости от назначения разделяется на группы интерфейсов: локальных сетей (с длиной магистрали от десятков метров до нескольких километров); распределенных систем управления; территориально и географически распределенных сетей ЭВМ (с длиной линии более десяти километров).

По конструктивному исполнению интерфейсы могут быть разделены на четыре категории: межблочные, обеспечивающие взаимодействие компонентов на уровне прибора, автономного устройства, блока, стойки, шкафа; внутриблочные, обеспечивающие взаимодействие на уровне плат, субблоков; внутриплатные, обеспечивающие взаимосвязь между интегральными схемами (СИС, БИС, СБИС) на печатной плате; внутрикорпусные, обеспечивающие взаимодействие компонентов внутри СБИС.

Межблочное сопряжение реализуется на уровне следующих конструктивных средств: коаксиального и оптоволоконного кабеля; многожильного плоского кабеля (шлейфа); многожильного кабеля на основе витой пары проводов. Внутриблочное сопряжение печатных плат, субблоков выполняется печатным способом или накруткой витой парой проводов внутри блока, стойки, шкафа. Ряд интерфейсов может быть реализован комбинацией внутри-блочного и межблочного исполнений. Внутриплатное сопряжение реализуется печатным способом, внутрикорпусное – методами микроэлектронной технологии.

8.2.3. Структурная организация интерфейсов

Составными физическими элементами связей интерфейса являются электрические цепи, называемые линиями интерфейса [9, 11]. Различают одно- и двунаправленные линии. Если на линии работает только один передатчик, линия считается однонаправленной, в этом случае используется традиционное схемотехническое решение приемопередающих узлов – один источник сигнала подключен к нескольким приемникам. В случае двунаправленных линий количество передающих устройств на линии больше одного, и это требует применения в передающих устройствах специальных решений – выходные каскады с высокоимпедансным состоянием (т. н. "третье" состояние), с открытым коллектором, с открытым стоком. При этом средства управления интерфейсом должны "регулировать" активность передающих устройств таким образом, чтобы в каждый момент времени передачу вело только одно устройство.

Часть линий, сгруппированных по функциональному назначению, называется шиной, а вся совокупность линий – магистралью. В системе шин интерфейсов условно можно выделить две магистрали: информационного канала и управления информационным каналом.

По информационной магистрали передаются коды данных, адресов, команд и состояний устройств. Аналогичные наименования присваиваются соответствующим шинам интерфейса.

Коды данных представляют информацию о процессах, протекающих в ВС. Обычно в машинных интерфейсах используется двоичное кодирование в формате машинного кода. Линии ШД обычно нумеруются DATXX, где XX – двоичный вес линии. Т.е. по линии DAT00 передается младший разряд машинного слова, по линии DAT01 – разряд с весом 2^{**1} и т.д.

Коды адресов предназначены для выборки в магистрали устройств, узлов устройства, ячеек памяти. Обычно для адресации используется позиционный двоичный код (двоичный номер объекта), однако нередко применяется и кодирование, при котором каждому устройству выделяется отдельная линия адреса.

Коды команд используются для управления функционированием устройств и обеспечения сопряжения между ними. В стандартах на интерфейс регламентируется минимально необходимый набор команд, который может быть расширен пользователем за счет резервных полей в кодах. По функциональному назначению различают адресные команды управления обменом информации

между устройствами, команды изменения состояния и режимов работы. К наиболее распространенным командам относятся: "Чтение", "Запись", "Конец передачи", "Запуск".

Коды состояния представляют собой сообщения, описывающие состояния устройств сопряжения. Коды формируются в ответ на действия команд или являются отображением состояний функционирования устройства, таких как "Занятость устройства", "Наличие ошибки", "Готовность устройства" к приему или передаче информации и т. п.

В большинстве случаев коды данных, адресов, команд и состояний передаются по шинам интерфейса с разделением времени за счет мультиплексирования шин. Это достигается введением дополнительных линий для обозначения типа передаваемой информации, называемых линиями идентификации. Их применение позволяет существенно сократить общее число линий информационной магистрали интерфейса, однако при этом происходит снижение быстродействия передачи информации.

Магистраль управления информационным каналом по своему функциональному назначению делится на ряд шин: управления обменом, передачи управления, прерывания, специальных управляющих сигналов.

Шина управления обменом включает в себя линии синхронизации передачи информации. В зависимости от принятого принципа обмена (асинхронного, синхронного) число линий может изменяться от одной до трех. Асинхронная передача происходит при условии подтверждения приемником готовности к приему и завершается подтверждением о приеме данных. При синхронной передаче темп выдачи и приема данных задается регулярной последовательностью сигналов. Линии шины управления обменом в случае двунаправленной информационной магистрали выполняются, как правило, двунаправленными.

Шина передачи управления выполняет операции приоритетного занятия магистрали информационного канала. Наличие этой шины определяется тем, что взаимодействие в большинстве интерфейсов выполняется по принципу "ведущий-ведомый" ("здатчик-исполнитель"), при котором "ведущее" устройство может брать управление шиной на себя в определенные моменты времени. При наличии в системе нескольких устройств, способных выполнять функции "ведущего", возникает проблема приоритетного распределения ресурсов шины (арбитража). Состав и конфигурация линий этой шины зависят от структуры управления интерфейсом. Различают децентрализованную и централизованную

структуры. В интерфейсах, предназначенных для объединения только двух устройств (соединение типа "точка-точка"), шина передачи управления отсутствует.

Шина прерывания применяется в основном в машинных интерфейсах ЭВМ и программно-модульных систем [9, 11]. Основная ее функция – идентификация устройства, запрашивающего сеанс обмена информацией. Идентификация состоит в определении контроллером (процессором) исходной информации о запрашиваемом устройстве. В качестве информации об устройстве используется адрес источника прерывания либо адрес программы обслуживания прерывания (вектор прерывания).

Шина специальных управляющих сигналов включает в себя линии, предназначенные для обеспечения работоспособности и повышения надежности устройств интерфейса. К этим линиям относятся: линии питания, контроля источника питания, тактирующих импульсов, защиты памяти, общего сброса, контроля информации и т. п.

В соответствии с существующим стандартом структуры связей интерфейсов подразделяются на следующие классы: магистральную; радиальную; цепочечную и смешанную (комбинированную). Тем не менее такое разделение не позволяет дать детального представления о пространственном размещении функциональных устройств и устройств сопряжения, а также о возможностях взаимосвязи этих устройств, т. е. их связности. Связность линии определяет возможность двустороннего или одностороннего направления передачи сигналов, т. е. передачи в прямом и обратном направлениях. Для однонаправленных линий связи возрастает пропускная способность информационной магистрали, упрощаются приемопередающие элементы и улучшается согласование линий. Однако применение однонаправленных линий приводит к увеличению общего числа линий.

8.2.4. Последовательные интерфейсы: RS-232C

Последовательный интерфейс для передачи данных использует одну сигнальную линию, по которой информационные биты передаются друг за другом последовательно. В ряде последовательных интерфейсов применяется гальваническая развязка внешних сигналов от схемной земли устройства, что позволяет соединять устройства, находящиеся под разными потенциалами [9, 11].

Последовательная передача данных может осуществляться в асинхрон-

ном или синхронном режимах. При асинхронной передаче каждому байту предшествует старт-бит, сигнализирующий приемнику о начале посылки, за которым следуют биты данных и, возможно, бит паритета (четности). Завершает посылку стоп-бит, гарантирующий паузу между посылками (рис. 8.2).



Рис. 8.2. Формат асинхронной передачи

Старт-бит следующего байта посылается в любой момент после стоп-бита, то есть между передачами возможны паузы произвольной длительности. Старт-бит, имеющий всегда строго определенное значение (логический 0), обеспечивает простой механизм синхронизации приемника по сигналу от передатчика. Подразумевается, что приемник и передатчик работают на одной скорости обмена. Внутренний генератор синхронизации приемника использует счетчик-делитель опорной частоты, обнуляемый в момент приема начала старт-бита. Этот счетчик генерирует внутренние стробы, по которым приемник фиксирует последующие принимаемые биты. В идеале стробы располагаются в середине битовых интервалов, что позволяет принимать данные и при незначительном рассогласовании скоростей приемника и передатчика. Очевидно, что при передаче 8 бит данных, одного контрольного и одного стоп-бита предельно допустимое рассогласование скоростей, при котором данные будут распознаны верно, не может превышать 5%. С учетом фазовых искажений и дискретности работы внутреннего счетчика синхронизации реально допустимо меньшее отклонение частот. Чем меньше коэффициент деления опорной частоты внутреннего генератора (чем выше частота передачи), тем больше погрешность привязки стробов к середине битового интервала, и требования к согласованности частот становятся более строгими. Чем выше частота передачи, тем больше влияние искажений фронтов на фазу принимаемого сигнала. Взаимодействие этих факторов приводит к повышению требований к согласованности частот приемника и передатчика с ростом частоты обмена.

Формат асинхронной посылки позволяет выявлять возможные ошибки передачи:

- если принят перепад, сигнализирующий о начале посылки, а по стробу старт-бита зафиксирован уровень логической единицы, старт-бит считается ложным и приемник снова переходит в состояние ожидания. Об этой ошибке приемник может и не сообщать.

- если во время, отведенное под стоп-бит, обнаружен уровень логического нуля, фиксируется ошибка стоп-бита.

- если применяется контроль четности, то после посылки бит данных передается контрольный бит. Этот бит дополняет количество единичных бит данных до четного или нечетного в зависимости от принятого соглашения. Прием байта с неверным значением контрольного бита приводит к фиксации ошибки. Контроль формата позволяет обнаруживать обрыв линии: при этом принимается логический нуль, который сначала трактуется как старт-бит, и нулевые биты данных, потом срабатывает контроль стоп-бита.

Для асинхронного режима принят ряд стандартных скоростей обмена: 50, 75, 110, 150, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600 и 115200 бит/с. Количество бит данных может составлять 5, 6, 7 или 8 (5- и 6-битные форматы распространены незначительно). Количество стоп-бит может быть 1, 1,5 или 2 ("полтора бита" означает только длительность стопового интервала). Синхронный режим передачи предполагает постоянную активность канала связи. Посылка начинается с синхробайта, за которым сразу же следует поток информационных бит. Если у передатчика нет данных для передачи, он заполняет паузу непрерывной посылкой байтов синхронизации. Очевидно, что при передаче больших массивов данных накладные расходы на синхронизацию в данном режиме будут ниже, чем в асинхронном. Однако в синхронном режиме необходима внешняя синхронизация приемника с передатчиком, поскольку даже малое отклонение частот приведет к искажению принимаемых данных. Внешняя синхронизация возможна либо с помощью отдельной линии для передачи сигнала синхронизации, либо с использованием самосинхронизирующего кодирования данных, при котором на стороне приемника из принятого сигнала могут быть выделены импульсы синхронизации.

На физическом уровне последовательный интерфейс имеет различные реализации, различающиеся способом передачи электрических сигналов. В большинстве стандартов сигнал представляется потенциалом. Существуют по-

следовательные интерфейсы, где информативен ток, протекающий по общей цепи передатчик-приемник – "токовая петля". Для связи на короткие расстояния приняты стандарты беспроводной инфракрасной связи. Наибольшее распространение в РС получил простейший последовательный интерфейс – стандарт RS-232C, реализуемый COM портами. В промышленной автоматике широко применяется RS-485.

Интерфейс RS-232C предназначен для подключения аппаратуры, передающей или принимающей данные от оконечного оборудования данных (ООД, DTE - Data Terminal Equipment), к оконечной аппаратуре каналов данных (АКД, DCE - Data Communication Equipment). В роли АПД может выступать компьютер, принтер, плоттер и другое периферийное оборудование. В роли АКД обычно выступает модем. Конечной целью подключения является соединение двух устройств АПД. Полная схема соединения приведена на рис. 8.3.

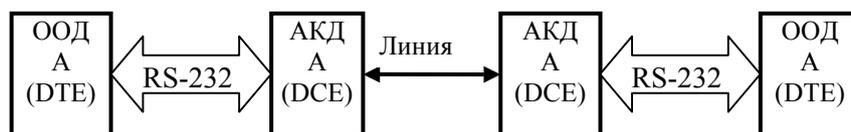


Рис. 8.3. Полная схема соединения по RS-232C

Интерфейс позволяет исключить канал удаленной связи вместе с парой устройств АПД, соединив устройства непосредственно с помощью нуль-модемного кабеля (рис. 8.4).

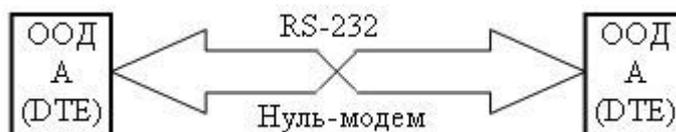


Рис. 8.4. Соединение по RS-232C нуль-модемным кабелем

Стандарт описывает управляющие сигналы интерфейса, пересылку данных, электрический интерфейс и типы разъемов. В стандарте предусмотрены асинхронный и синхронный режимы обмена.

Стандарт RS-232C использует несимметричные передатчики и приемники - сигнал передается относительно общего провода – схемной земли. Интерфейс не обеспечивает гальванической развязки устройств. Логической единице соответствует напряжение на входе приемника в диапазоне –12...–3 В. Логическому нулю соответствует диапазон +3...+12В. Уровни сигналов на вы-

ходах передатчиков должны быть в диапазонах $-12\dots-5$ В и $+5\dots+12$ В для представления единицы и нуля соответственно.

Стандарт RS-232C регламентирует типы применяемых разъемов. На аппаратуре АПД (в том числе на COM портах) принято устанавливать вилки (male) DB-25P или более компактный вариант – DB-9P. Девятиштырьковые разъемы не имеют контактов для дополнительных сигналов, необходимых для синхронного режима (в большинстве 25-штырьковых разъемов эти контакты не используются). На аппаратуре АКД (модемах) устанавливают розетки (female) DB-25S или DB-9S.

Если аппаратура АПД соединяется без модемов, то разъемы устройств (вилки) соединяются между собой нуль-модемным кабелем, имеющим на обоих концах розетки, контакты которых соединяются перекрестно.

8.2.5. Параллельный интерфейс

Параллельный интерфейс позволяет устройству функционировать в качестве периферии CPU или микроконтроллера. Тип интерфейса и его режим адресации (мультиплексорный или немультимплексорный) определяется с помощью входных контактов MODE0 и MODE1 [9, 11].

Немультимплексорный режим. Немультимплексорный режим использует управляющие выходы CS, RD, WR, адресного вывода A0 и двунаправленных шин данных D7-0 как показано на рис. 8.5. Этот режим выбирается присоединением обоих выводов MODE1 и MODE0 к "земле".

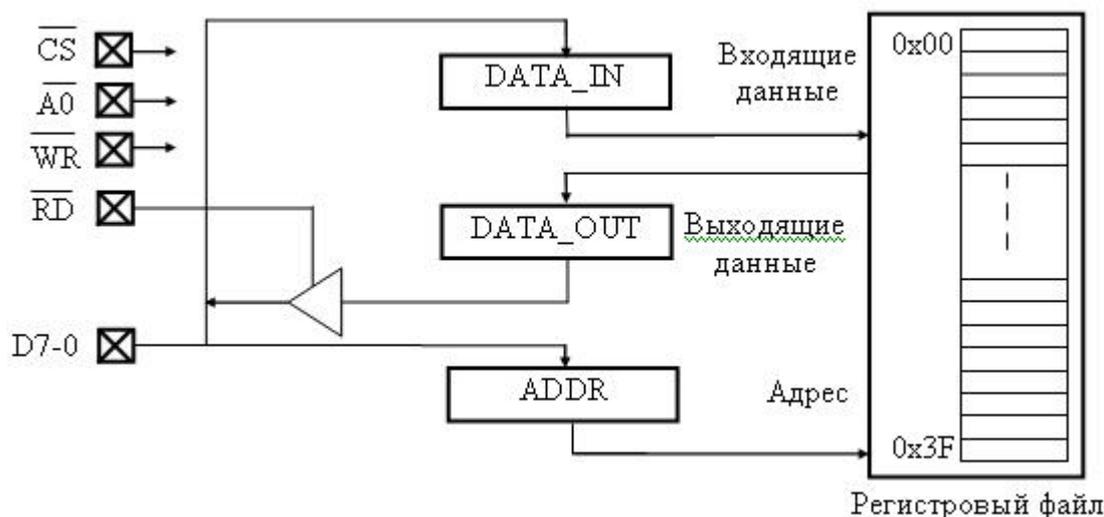


Рис. 8.5. Схема немультимплексорного режима

CPU имеет прямой доступ к регистрам DATA_IN, DATA_OUT и ADDR. Чтение и запись данных в устройство может быть осуществлено либо в режиме

стандартного доступа либо в пакетном режиме. Для получения информации по временным характеристикам рис. 8.6.

Режим стандартного доступа. Порядок стандартного доступа для немultipлексорного режима заключается в записи адреса в регистр ADDR и последующих чтения и записи данных из/в регистр DATA_IN, DATA_OUT. Регистр DATA_OUT обновляется после записи в регистр ADDR. Регистр ADDR или регистр DATA_OUT/DATA_IN выбираются с помощью входа A0.

Пакетный режим. В пакетном режиме, в регистр ADDR записывается один раз нужный адрес памяти любого регистра расположенного на кристалле. Затем выполняется последовательность чтение/запись в регистры DATA_IN/DATA_OUT без предварительной записи нового адреса. Содержимое регистра DATA_OUT для операций чтения обновляется один раз после каждого чтения или записи.

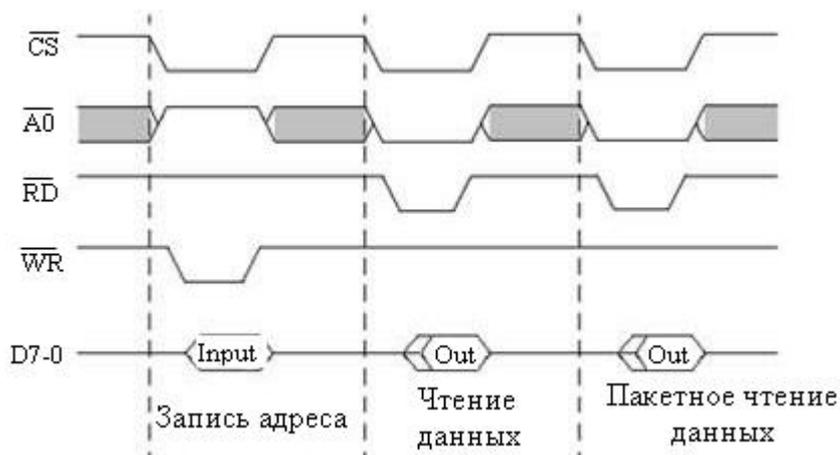


Рис. 8.6. Временная диаграмма немultipлексорного режима

Пользовательские регистры. Табл. 8.1 даёт обзор параллельных регистров в немultipлексорном режиме. Зарезервированные биты возвращают неопределённые данные на чтение и должны быть заполнены "0".

Таблица 8.1

A0	Доступ	Бит							
		7	6	5	4	3	2	1	0
0	Чтение	DATA_OUT							
0	Запись	DATA_IN							
1	Чтение	Зарезервировано							
1	Запись	Зарезервировано				ADDR5-0			

Адресный регистр (ADDR). Регистр ADDR действует как указатель на внутреннюю память. Регистр только записывается и очищается сбросом.

Регистр выдачи данных (DATA_OUT). Регистр DATA_OUT обновляется с содержимым регистра памяти, на который указывает регистр ADDR. Обновление происходит при следующих условиях: 1. после записи регистра ADDR; 2. после чтения из регистра DATA_OUT; 3. после записи в регистр DATA_IN. Этот регистр только для чтения и содержит неопределённые данные после сброса.

Регистр приёма данных (DATA_IN). Регистр DATA_IN содержит данные, записанные в устройство по адресу который содержит ADDR. Этот регистр только для записи и очищается после сброса.

Мультиплексорный режим. Мультиплексорный режим использует управляющие выходы CS, RD, WR, разрешающий сигнал адресной защёлки ALE и двунаправленную шину адресных данных AD7-0 как показано на рис. 8.7.

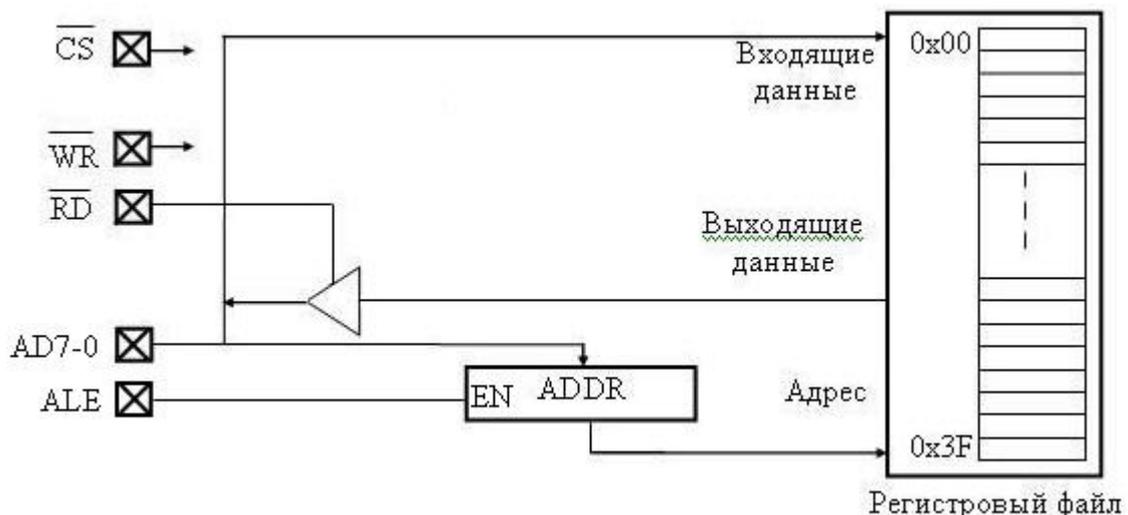


Рис. 8.7. Схема мультиплексорного режима

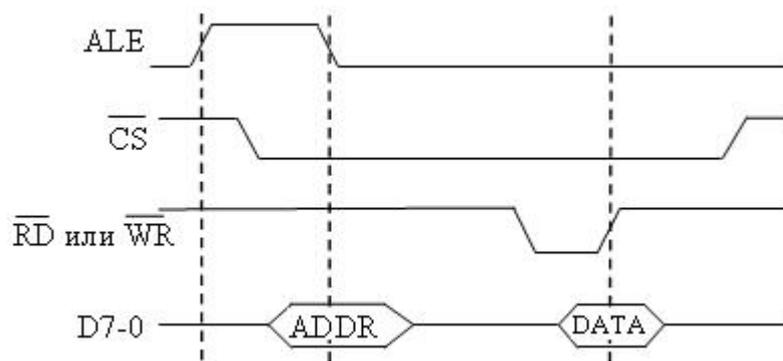


Рис. 8.8. Основные временные характеристики чтения/записи мультиплексорного режима

Этот режим выбирается подключением MODE1 к "земле" и MODE0 к VCC. Адрес защёлкивается в регистре ADDR, когда ALE в высоком состоянии. Данные выводятся/вводятся со следующими активными сигналами RD или WR. Все регистры доступны напрямую в этом режиме.

На рис. 8.8 показаны основные временные характеристики интерфейса в мультиплексорном режиме.

8.3. Структуры каналов УСО

Архитектуру построения и способы общей организации используемых элементов УСО удобнее всего рассмотреть на примере крейтов последнего поколения. Основой архитектуры любого из них является плата генпанели и набор системных модулей, которые определяют особенности управления крейтом. Базовым системным модулем при этом является модуль главного или основного контроллера крейта или плата микро-ЭВМ крейта. Остальные системные модули относятся к вспомогательным системным модулям. Они играют роль аппаратных драйверов, обеспечивающих плате микро-ЭВМ крейта доступ к функциональным модулям, а также возможность взаимодействия с индикационной панелью крейта, возможность энергонезависимого хранения информации, связь с подсистемой информационного обмена всей системы автоматизации и т.д. Рассмотрим УСО, разработанные НТЛ "ЭлИн" г. Новосибирск.

8.3.1. Конструктивы крейтов УСО

Для организации крейтов УСО используются различные конструктивы, при этом учитывается специфика и стоимость системы автоматизации, для которой они применяются. Все эти конструктивы можно разделить на три группы.

Во-первых, это старые конструктивы рис. 8.9. К ним в основном относятся стойки и крейты стандартов ВИШНЯ, ЧЕРЕШНЯ, КАМАК, ВЕКТОР, а также шкафы и крейты групповых нормализаторов серии АСТ. Безусловно находят применение только конструктивные элементы этого оборудования. Часто сами магистральи, как набор проводников связывающих места для установки отдельных модулей (например КАМАК), используются для организации обмена между модулями крейта УСО. Для подключения линий связи с датчиками или органами управления в подобных конструкциях требуется доработка таких конструктивных элементов, которая заключается в их снабжении нестандартными накладками, содержащими элементы коммутации (разъемы, клеммники, колодки и т.д). Системные и функциональные элементы (платы) УСО размещаются в стандартных конструктивах модулей устаревших стандартов, в соответствии с регламентом и конструкторскими нормами этих стандартов. Такой подход часто позволяет снизить цену конечной системы, т.к. используется зачастую списанное оборудование.



Рис. 8.9. Стойка и крейты стандарта ВИШНЯ

Во-вторых, используются субблоки и крейты разработанные такими известными поставщиками конструктивов как BOPLA, ROSE и т. д. (рис. 8.10).



Рис. 8.10. Субблоки и крейты

В-третьих, разработан конструктив для оборудования УСО (рис. 8.11).



Рис. 8.11. Конструктив для оборудования УСО

Т.к. в основе любого УСО используется большое количество печатных плат с электронными компонентами, связанных между собой шинами обмена сигналами и подключенных к одному общему блоку питания. Для объединения всех плат в единое устройство был разработан универсальный крейт. Он представляет собой металлический каркас-ящик собранный из алюминиевых листов, соединённых между собой винтами.

В центральной части крейта в верхнем и среднем листе профрезерованы 16 пазов-направляющих для размещения печатных плат. Задней стенкой является печатная плата (генпанель), на которой размещены разъемы для подключения 16 плат модулей крейта. В нижней части крейта, под платами, в специальном разъемном футляре размещен блок питания, обеспечивающий питанием

все электронные схемы крейта. Плата узла блока питания в собранном виде прикрепляется с помощью винтовых соединений к нижней стенке крейта.

Передняя стенка крейта, закрепленная на четырех уголках за выступы боковых стенок, закрывает печатные платы спереди. На передней стенке размещены узлы индикаторов наличия напряжений питания, клавиатура для управления работой крейта, кнопка сброса главного контроллера и матричный жидкокристаллический индикатор, служащий для оперативного контроля поступающей от датчиков информации и удобства управления системой. Здесь же собран и силовой узел всего крейта. Он включает сетевой кабель для подключения к электросети, сетевую кнопку KS1, специальный кабельный отвод к блоку питания и предохранитель Пр1. Использование специальных разъемных соединений X5K, для сетевого кабеля, и X6K, для отвода к блоку питания, значительно увеличивает функциональность и сервисность работы с крейтом.

Основой конфигурации аппаратуры УСО с любой оригинальной структурой, построенной на базе универсального крейта, является плата генпанели, которая регламентирует информационные и управляющие, цифровые, аналоговые и силовые соединения между отдельными модулями, каждый из которых решает одну или несколько локальных задач. Плата генпанели нигде не соединяется с линиями связи первичных преобразователей и органов управления, а также линиями их питания. Она содержит только проводники для передачи нормализованных аналоговых и вторичных цифровых сигналов.

Сигналы поступающие непосредственно от датчиков и органов управления подключаются к модулям УСО через специальные платы терминаторов, на которых установлены необходимые электронные компоненты, обеспечивающие согласование сигналов со схемами, расположенными на модулях. Если считать, что хвостовой ножевой разъем любого из модулей, который предназначен для подключения к генпанели, расположен сзади платы, то штыревой разъём установки терминатора расположен спереди модуля. Каждый проводник линий связи, поступающий к крейту УСО, закрепляется и фиксируется на терминаторе специальным винтовым зажимом типа DT-126V фирмы Dinkle или TERMI-BЛОК фирмы АМР.

В настоящее время разработано несколько типов терминаторов, отличающихся как типами конструктивов печатной платы, так и принципиальной схемой. Комбинация терминаторов разных типов позволяет принимать сигналы с различного типа датчиков на различные типы функциональных модулей из

набора УСО.

Блок питания обеспечивает крейт следующими напряжениями +5В, +12В (+15В), -12В(-15В), которые имеют гальваническую связь между собой, и изолированным от остальных напряжением с уровнем +5В (линии ISO+5D и ISOGND). С помощью выходного разъема X1P эти уровни, генерируемые блоком питания, подключаются к плате генпанели, от которой поступают ко всем модулям крейта.

Оба источника с напряжением +5В выполнены как покупные изделия: импульсные источники питания типа "ALVA 1094", которые преобразуют напряжение электрической сети ~220В/50Гц в напряжение питания +5В, ток нагрузки 800мА. Напряжение электросети поступает непосредственно на печатные клеммы блока от передней стенки крейта. Источники напряжений +12В(+15В) и -12В(-15В) с токами нагрузки по 200мА также преобразуются из напряжения электрической сети ~220В/50Гц. Схема содержит тороидальный трансформатор TP1 с одной первичной и двумя вторичными обмотками, диодные мосты VD1, VD2 (КЦ407А), фильтрующие емкости С1...С8, интегральные стабилизаторы LM7912(LM7915), нагрузочные резисторы R1, R2 для устранения нежелательных эффектов при работе на холостом ходу.

8.3.2. Функциональные модули крейтов УСО

Система обозначений модулей УСО. Наименование функционального модуля (ФМ) УСО складывается из буквенного обозначения типа блока и цифрового кода модификации. В цифровом коде первая цифра обозначает количество интерфейсных каналов связи с микро-РС (может принимать значение 1 или 2); вторая цифра обозначает порядковый номер разработки (может принимать значение от 1 до 9); остальные цифры обозначают номер модификации.

Модуль аналогового ввода. Модуль приема токового унифицированного сигнала предназначен для приема аналоговых сигналов тока или напряжения, их усреднения, оцифровки и привязки ко времени. Модуль имеет 30 дифференциальных входов гальванически развязанных с остальными цепями, 2 калибровочных канала (0,1 и 0,9 полной шкалы), 3 канала контроля напряжения.

С целью повышения надежности модуль имеет дублированную структуру с общей входной частью и два встроенных микропроцессора, обеспечивающих два независимых канала обработки сигнала, и соответственно выход на два ПрК. Применение микропроцессоров позволяет гибко управлять процессом опроса и обработки сигналов и разгрузить управляющие ПрК: микропроцессор

осуществляет управление АЦП, фильтрацию и усреднение, обеспечивает для ПрК "прозрачное" чтение значений входных сигналов.

Технические характеристики: диапазон входных сигналов $\pm 5\text{мА}$, $\pm 20\text{мА}$, $\pm 1\text{В}$, $\pm 5\text{В}$; время опроса (программируется) 10...1000 мс; число разрядов АЦП, включая знаковый 12; коэффициент фильтрации (программируется) 0...8; относительная погрешность 0,1%; максимальная энергия импульсной помехи напряжением 1,5кВ до 0,5Дж; напряжение гальванической развязки между входными и выходными цепями, не менее 1500В.

Модуль дискретного ввода (для приема быстрых дискретных сигналов (защиты, электрика и т.п.)). Модуль предназначен для приема 32-х дискретных сигналов, предварительной обработки и привязки ко времени. Модуль обеспечивает прием сигналов постоянного или переменного тока, либо типа "сухой" контакт с запиткой от отдельных источников питания. Прием сигналов осуществляется модульными сборками фирмы Grayhill, Analog Devices и т.п., обеспечивающими одиночные гальванически развязанные входы. С целью повышения надежности модуль имеет дублированную структуру с общей входной частью и двумя встроенными микропроцессорами, обеспечивающими два независимых канала обработки сигнала, и соответственно выход на два ПрК. Применение микропроцессоров позволяет гибко управлять процессом опроса и обработки сигналов и разгрузить управляющие ПрК. Микропроцессор осуществляет фильтрацию от "дребезга" контактов, выделение из входных сигналов произвольной группы инициативных сигналов, запрет обработки произвольной группы сигналов, буферизация зарегистрированных изменений состояний входов, просмотр состояния входов через "прозрачные" регистры.

В случаях, не требующих больших скоростей опроса и обработки сигналов, могут быть использованы модификации модулей без плат контроллеров, имеющие меньшую стоимость.

Технические характеристики: задержка переключения входного модуля гальванической развязки, не более 5мс; период опроса входов (с возможностью программного изменения) 1...500мс; напряжение межканальной гальванической развязки, не менее 500В; напряжение гальванической развязки между входными и выходными цепями, не менее 1500В.

Модуль дискретного ввода (для прием медленных дискретных сигналов (концевики, задвижки и т.п.)). Модуль предназначен для приема 16-ти дискретных сигналов постоянного или переменного тока напряжением 220В. Прием

сигналов осуществляется гальванически развязанными группами входов.

С целью повышения надежности модуль имеет дублированную структуру с общей входной частью и выходом на два ПрК. Для снижения рассеиваемой входными цепями мощности, входы опрашиваются с большой скважностью, просмотр состояния входов производится через "прозрачные" регистры.

Технические характеристики: период опроса состояния входов 500мс; количество групп по 4 входа 4; напряжение межгрупповой гальванической развязки, не менее 500В; напряжение гальванической развязки между входными и выходными цепями, не менее 1500В.

Модуль обеспечивает выдачу релейных команд замыканием "сухого" контакта с использованием модулей твердотельных реле фирмы Grayhill, Phoenix и т.п. В алгоритме управления МДУ реализована защита от выдачи несанкционированных команд при неисправности интерфейса связи. При наличии платы контроля подключения, в МДУ можно осуществить проверку выполнения команд, считывая непосредственно состояние выходов твердотельных реле. С целью повышения надежности МДУ имеет дублированную структуру с общей выходной частью и выход на два ПрК. Управление модулем может осуществляться от любого из двух ПрК.

Технические характеристики: количество релейных выходов 16; напряжение гальванической развязки между входными и выходными цепями и между каналами, не менее 1500В.

Модуль цифрового осциллографа. Модуль цифрового осциллографа предназначен для регистрации быстропротекающих аналоговых сигналов, поступающих от измерительных преобразователей тока и напряжения или других источников сигналов. МЦО обеспечивает несколько режимов регистрации, в том числе режим непрерывной записи с откачкой информации, режим с предысторией, старт – стоповый режим по внешнему дискретному сигналу. В МЦО программно осуществляется выбор числа подключенных аналоговых входов, диапазоны входных сигналов, соотношение объемов предпусковой и основной памяти (0...100%), период опроса.

Технические характеристики: количество аналоговых входов 1...16 (подключаются программно); диапазоны входных аналоговых сигналов $\pm 1...16В$; разрядность АЦП 12 разрядов (11 + 1 знаковый); объем буферной памяти 1Мбайт; период опроса, программируемый 200...65536мкс; длительность осциллограммы (без откачки) при периоде опроса: напряжение гальванической

развязки между входными и выходными цепями, 1,0 мс (16 каналов) 32,77с; 1,0 мс (1 канал) 8,74мин; не менее 1500В.

Модуль аналогового управления. Обеспечивает выдачу аналоговых сигналов тока. В алгоритме управления МАУ реализована защита от выдачи случайного сигнала при неисправности интерфейса связи. С целью повышения надежности МДУ имеет дублированную структуру с общей выходной частью и выход на два ПрК.

Технические характеристики: количество выходов 8; время установки, не более 100мкс; диапазон сопротивления нагрузки 0...500Ом; точность установки, не хуже 0,1%; напряжение изоляции 1500В.

Крейт питания. Крейт питания предназначен для преобразования и сведения двух сетей: трехфазной сети 380/220В±10% (основная сеть) и постоянного напряжения аккумулятора 220В±10% в одну сеть и преобразование ее в постоянное стабилизированное напряжение 24В±5%. Крейт имеет сигнализацию отсутствия входных напряжений и сигнализацию перехода на питание от аккумулятора.

Модуль вторичного источника питания крейта. Модуль предназначен для питания цифровой части схем модулей УСО. Модуль имеет схему диагностики, обнаруживающую выход напряжения за допустимые границы. Результат диагностики выводится на индикацию модуля, а также в зависимости от модификации, выводится “сухими” контактами и\или, доступен на шине крейта, что позволяет производить дистанционный контроль. Выходное напряжение также можно проконтролировать на гнездах, расположенных на передней панели модуля. Модуль допускает питание от двух резервирующих входных напряжений и объединение модулей по выходу.

Технические характеристики: входное напряжение =24 В ± 10%; входной ток при полной нагрузке 1,3 А; выходное напряжение (нагрузка 0...100%) = 5 В ± 2%; максимальный ток нагрузки 5 А; границы срабатывания сигнализации ± 5%; защита от короткого замыкания продолжительная; амплитуда помех на выходе, не более 50мВ.

Коммутаторы каналов УСО. Коммутаторы каналов УСО служат для подключения датчиков или измерительных преобразователей и исполнительных устройств соответственно по входам и выходам устройств обработки информации, в том числе к УВМ. Кроме того, коммутаторы являются элементами различного рода многоканальных устройств и установок, где используются ка-

кие-либо общие на несколько каналов модули и блоки. Основным элементом коммутатора является *ключевой элемент* (КЭ).

Коммутаторы работают в *циклическом* и *адресном* режимах. Циклическая коммутация ("обегание" каналов) с постоянным, реже с переменным периодом подключения поочередно ко всем линиям связи или устройствам используется в сравнительно несложных системах централизованного контроля и регулирования с малой информационной мощностью (с числом каналов до 256). Управляющий сигнал S_y в таких коммутаторах формируется генератором управляющих импульсов, например кольцевым триггерным счетчиком, запускаемым от мультивибратора. Импульсы с выходов триггера счетчика и являются управляющими сигналами для соответствующих КЭ. Число каналов коммутации в таких *линейных коммутаторах* определяется разрядностью счетчика.

Вопросы для самопроверки

1. Назовите назначение устройства связи с объектом управления и их основные типы.
2. В чем заключается принцип организации устройства связи с объектом управления?
3. Назовите назначение устройств ввода и вывода аналоговых и дискретных сигналов?
4. Приведите основные характеристики устройств ввода и вывода аналоговых и дискретных сигналов.
5. Назовите основные характеристики интерфейсов систем автоматизации и управления.
6. Каково назначение системных интерфейсов?
7. Каково назначение интерфейсов персональных компьютеров типа IBM PC?
8. Каково назначение приборных интерфейсов?
9. Назовите основные характеристики системных интерфейсов, интерфейсов персональных компьютеров типа IBM PC и приборных интерфейсов.
10. Назовите основные характеристики интерфейсов устройств ввода/вывода (периферийных устройств).
11. Расскажите о принципе работы последовательного интерфейса.
12. Расскажите о принципе работы параллельного интерфейса.

Глава 9. Технические средства обработки, хранения информации и выработки управляющих воздействий

9.1. Программируемые контроллеры

Программируемые контроллеры (PLC) [7, 10] являются базовыми компонентами для построения систем автоматического управления различной степени сложности. Широкий спектр центральных процессоров (ЦПУ), сигнальных, функциональных, коммуникационных и интерфейсных модулей позволяет получать оптимальные решения для каждой конкретной задачи. Рассмотрим основные характеристики PLC на примере программируемых контроллеров, выпускаемых компанией Omron. Компания Omron предлагает PLC для построения систем автоматизации различного уровня сложности – от компактного PLC серии CPM до высокопроизводительного модульного контроллера CJ1 и PLC серии CS1 на основе базовой панели. Для программирования контроллеров применяется пакет автоматизации CX-Programmer, который содержит программные средства настройки, программирования, запуска, наблюдения и обслуживания для всех контроллеров Omron. Требуемые для работы программные средства можно расширить путем добавления дополнительных программных компонентов.

Серия *компактных программируемых логических контроллеров (CPM)* располагает широкими функциональными возможностями при миниатюрных размерах. Во всех моделях предусмотрены функции прерывания и импульсного входа. Во всех моделях с транзисторным выходом предусмотрены импульсные выходы для привода шаговых двигателей, сервоприводов и реверсивных приводов. CPM1A представляет собой универсальный PLC. Выпускается семейство из 24 ЦПУ с питанием переменным или постоянным током, встроенными выходами постоянного тока и транзисторными или релейными выходами. Встроенные функции прерывания и импульсного ввода/вывода обеспечивают простоту оцифровки, позиционирования и управления по скорости. Модули расширения ввода/вывода обеспечивают дополнительные цифровые каналы ввода/вывода, аналоговые каналы ввода/вывода, а также измерение и регулировку температуры. Функциональные модули DeviceNet, Profibus и CompoBus/S позволяют использовать PLC CPM1A в качестве ведомого контроллера в компьютерных сетях на месте эксплуатации.

PLC CPM2A обладает функциональностью CPM1A, а также оснащен импульсным вводом/выводом повышенной скорости (до 20 кГц), дополнительными

ми портами ввода/вывода и расширенными функциями связи. Функции синхронизации осей, широтно-импульсная модуляция и быстродействующие входы позволяют использовать CPM2A для автоматизации компактного станочного оборудования.

PLC CPM2C содержит полный набор функций CPM2A. Он оснащен модулями ввода/вывода с винтовыми или многоконтактными разъемами, а также ЦПУ со встроенными функциями ведомого устройства сети DeviceNet и/или главного устройства шины CompoBus-S, что обеспечивает распределенное управление оборудованием.

Серия контроллеров CPM характеризуется следующими функциональными возможностями: макс. 192 входа/выхода; выход счетчика 20 кГц и два импульсных выхода 10 кГц; память для хранения программ емкостью 4000 слов; память данных емкостью 2000 слов; по дополнительному заказу: часы реального времени; один или два встроенных интерфейса RS-232C; объединение в сеть до 32 контроллеров CPM2 с помощью протокола Host Link компании Omron; команды PID, SYNC и широтно-импульсной модуляции; усовершенствованное позиционирование (одна ось на ЦПУ).

Серия *модульных PLC CJ1* содержит как ЦПУ для простого программного управления, так и высокопроизводительные модели, обеспечивающие управление оборудованием с контролем до 2560 точек ввода/вывода. Модульный принцип построения контроллера позволяет подобрать соответствующий процессор и набор устройств ввода/вывода для решения конкретной задачи. Процессоры серии CJ1 могут комплектоваться модулями связи с открытыми протоколами для сетей Ethernet, DeviceNet и Profibus, а также для сетей компании Omron; специализированными модулями для разметки RFID, управления положением или контроля температуры; разнообразными аналоговыми и цифровыми модулями ввода/вывода с использованием различных технологий подключения.

Функциональные возможности серии CJ1: макс. 2560 цифровых входов/выходов; широкий выбор совместимых процессоров и устройств ввода/вывода; время выполнения команды до 20 нс; использование стандартных карт памяти CompactFlash для резервирования и регистрации данных; высокоскоростной обмен данными и программирование с использованием открытых сетей. В модулях управления CJ1 периферийная обработка выполняется параллельно с обработкой команд, что позволяет понизить время отклика PLC.

PLC CQM1H также имеет модульную конструкцию, широкий набор дискретных, аналоговых и специальных модулей ввода/вывода, специализированных плат расширения процессора. Наличие сетевого модуля Controller Link, поддержка Protocol Macro для последовательных портов, позволяют объединить в единую систему до 32 контроллеров, включить в систему разнообразное специализированное оборудование - температурные и частотные регуляторы, сервоприводы, весоизмерительные устройства и другие приборы. Технические данные PLC CQM1H приведены в табл. 9.1.

Таблица. 9.1

Дискретных входов/выходов, макс.	256/256
Выполняемых инструкций	162 (14 базовых, 148 специальных)
Время выполнения инструкций	Базовых 0.375-1.125 мкс. Специальных 17.7 мкс
Объем памяти программы	До 15,2 Кслов
Объем памяти данных	До 12 Кслов
Дополнительная память для сохранения программы	До 16 Кслов, FLASH
Программных таймеров/счетчиков	512
Входы внешних прерываний	4
Скоростных счетчиков, 500 кГц	9
Импульсных выходов, 50 кГц	2

Серия PLC для монтажа в стойке CS1 разработана на основе PLC серии C200H и обладает обратной совместимостью с этой серией. Для серии CS1 выпускается более 150 различных модулей ввода/вывода, связи и специальных функций. Модули ввода/вывода высокой плотности расширяют возможности локального ввода/вывода системы максимум до 5120 точек ввода/вывода. Использование систем с промышленными шинами данных (например, DeviceNet и Profibus-DP) позволяет добавить десятки тысяч удаленных точек ввода/вывода. В PLC CS1D предусмотрена возможность установки парных резервных ЦПУ, источников питания и модулей связи, а также возможность горячей замены ЦПУ и модулей ввода/вывода без отключения системы. В настоящее время выпускается 9 моделей модулей ЦПУ CS1. Все типы процессоров имеют разъем для установки карты Flash-памяти, периферийный и RS232C порты, а также место для установки дополнительных коммуникационных плат. В номенклатуру модулей для контроллеров CS1 входят модули высокой плотности на 96 точек ввода/вывода, аналоговые модули ввода/вывода с изолированными каналами,

модули ввода сигналов термопар и термосопротивлений и большое количество специальных модулей.

В табл. 9.2 представлены сравнительные характеристики PLC серий CPM, CJ1 и CS1.

Таблица 9.2

	Серия компактных программируемых логических контроллеров CPM1/CPM2	Серия модульных программируемых логических контроллеров CJ1	Серия программируемых логических контроллеров для монтажа в стойке CS1
Встроенные: Цифровой ввод-вывод Входы счетчиков Импульсные выходы	10-60 5 - 20 кГц 2 - 10 кГц	0- 16 100 кГц 100 кГц	нет нет нет
Макс. количество точек цифрового ввода/вывода	10- 192	320 - 2560	960-5120
Время выполнения (битовые команды)	0,72 - 0,64 мкс	0,10 - 0,02 мкс	0,04 - 0,02 мкс
Память программ	2000 - 4000 слов	10000 - 120000 шагов	10000 - 250000 шагов
Память данных	1000 -2000 слов	32000 - 256000 слов	32000 - 448000 слов
Карта памяти CompactFlash	нет	До 64 Мбайт	До 64 Мбайт
Аналоговый ввод-вывод	Макс. 4x3 точек разрешение 8 бит, 12 бит U, I,TC, Pt100	Макс. 40 x 8 точек разрешение 12/13 бит U, I,TC, Pt100	Макс. 80 x 8 точек разрешение 12/13 бит U, I,TC, Pt100
Модули специальных функций		Регулирование температуры, высокоскоростные счетчики (500 кГц), управление по положению, макрос реализации протокола	Регулирование температуры, вход блока кодирования SSI, высокоскоростные счетчики (500 кГц), управление по положению, координатное управление, управление тех. процессом, макрос реализации протокола, свободно программируемые модули
Промышленные сети	Последовательные линии связи	Ethernet Controller Link Последовательные линии связи	Ethernet Controller Link Последовательные линии связи
Главное устройство промышленной шины Fieldbus	CompoBus/S	DeviceNet CompoBus/S PROFIBUS-DP (3 кв. - 2003)	DeviceNet CompoBus/S PROFIBUS-DP CAN / CANopen
Канал ввода-вывода промышленной шины	DeviceNet CompoBus/S PROFIBUS-DP	DeviceNet PROFIBUS-DP	DeviceNet PROFIBUS-DP CAN / CANopen

Открытый Сетевой Контроллер (ONC) позволяет объединять информацию со всех уровней производства и получать доступ к любым данным: через Internet, электронную почту и другими способами. Возможность работы с наиболее распространенными промышленными сетями позволяет управлять и обрабатывать различные потоки информации. Контроллер поддерживает два основных глобальных сетевых протокола: Ethernet, который связан с Internet-технологиями, и DeviceNet, который взаимодействует с ведомыми устройствами. Связь с другими устройствами может быть осуществлена через последовательный интерфейс (три Com-порта) или за счет функции Datalink при работе по сетям ControllerLink или SysmacLink. Контроллер совместим со стандартными коммуникационными протоколами: Web/e-mail, Telnet, FTP, PPP, HTTP и ActivX. Данные о любом участке производства могут быть получены через Web-browser установленный на персональном компьютере. Разработка собственных приложений на C/C++ возможна с использованием систем реального времени. Контроллер способен вести сложные математические вычисления, выполнение которых затруднительно для стандартных логических контроллеров. Открытый сетевой контроллер (со встроенной шиной CS1) может быть использован как компьютер, связанный по высокоскоростной внутренней шине CS1 (PC21) с дополнительными стойками расширения PLC CS1. В качестве операционной системы PLC используется ОС реального времени QNX, что повышает надежность функционирования системы автоматизации.

9.2. Промышленные компьютеры

Промышленные компьютеры предназначены для эксплуатации в промышленных условиях и могут круглосуточно работать под действием влажности, пыли, агрессивных сред, вибрации и тряски. Рассмотрим промышленные компьютеры в различных исполнениях на примере оборудования SIMATIC PC компании Siemens [19].

Компьютеры боксового исполнения SIMATIC Box PC предназначены для установки в ограниченных монтажных объемах шкафов управления, отсеков, на консолях или непосредственно на автоматизируемых машинах. Семейство представлено двумя моделями: SIMATIC Box PC 620 и SIMATIC Box PC 840. Промышленные компьютеры SIMATIC Box PC отличаются высокой стойкостью к механическим воздействиям, воздействию электромагнитных полей, способны сохранять работоспособность в широком диапазоне температур. Компьютеры требуют для своей установки минимальных монтажных объемов и

могут монтироваться в шкафах управления, на консолях, непосредственно на автоматизируемых машинах. Компьютеры SIMATIC Box PC являются основой для: построения измерительных комплексов, систем автоматического регулирования, систем управления роботами и т.д.; решения задач визуализации и оперативного управления с использованием внешних мониторов и информационных табло; сбора, компьютерной обработки и накопления производственных данных и т.д. SIMATIC Box PC характеризуются следующими показателями:

- высокая промышленная пригодность: применение высококачественных компонентов, гарантирующих возможность непрерывной работы компьютеров; высокая стойкость к вибрационным и ударным воздействиям во время работы; высокая стойкость к воздействию электромагнитных полей, наличие марки CE для применения в промышленных условиях; широкий диапазон рабочих температур; модульная конструкция, удобство обслуживания; широкий набор диагностических функций.

- высокая промышленная функциональность: встроенный интерфейс Profibus/MPI до 12 Мбит/с; встроенный интерфейс Ethernet 10/100 Мбит/с; наличие последовательных, параллельных и USB интерфейсов; наличие свободных PCI и ISA разъемов; высокая гибкость, возможность расширения конфигурации; компактное исполнение; высокая производительность.

Компьютеры стоечного исполнения SIMATIC Rack PC могут использоваться в качестве настольных систем или монтироваться в 19-ти дюймовые стойки управления. Семейство представлено двумя моделями: SIMATIC Rack PC IL 40 и SIMATIC Rack PC 840. Типовыми областями применения компьютеров являются: аппаратура диспетчерских пунктов; системы сбора, накопления и архивирования производственных данных; решение задач визуализации; решение инжиниринговых задач. Промышленные компьютеры предназначены для установки в 19-ти дюймовые стойки управления и обеспечивают решение широкого круга задач автоматизации: построение измерительных систем, замкнутых и разомкнутых систем автоматического регулирования; построение систем визуализации и оперативного управления; построение систем обработки видеоизображений и контроля качества продукции; сбор и обработка данных, управление рецептами, Internet-связь.

Компьютеры SIMATIC Panel PC оснащены встроенным дисплеем и клавиатурой. Фронтальная панель компьютеров имеет степень защиты IP65, что делает их пригодными для использования в жестких промышленных условиях

и загрязненных средах. Кроме обычных применений в промышленности, они также используются в системах жизнеобеспечения зданий и общественном секторе. Семейство представлено моделями SIMATIC Panel PC 670, SIMATIC Panel PC 870, SIMATIC Panel PC IL 70 и SIMATIC FI45 V2. SIMATIC Panel PC являются основой для решения задач визуализации и могут поставляться в комплекте с программным обеспечением SIMATIC ProTool/Pro или SIMATIC WinCC.

Промышленные компьютеры SIMATIC PC имеют следующие особенности: материнская плата собственной разработки и изготовления; современная архитектура, базирующаяся на использовании микропроцессоров Intel; промышленное исполнение, соответствующее современным PC стандартам; мощная встроенная система диагностики и мониторинга. Благодаря перечисленным особенностям промышленные компьютеры SIMATIC PC способны: работать в условиях воздействия вибрации и тряски, а также в тяжелых температурных режимах; работать под управлением различных операционных систем и с различной дополнительной аппаратурой.

9.3. Выбор средств автоматизации

В [2] подробно рассмотрены роль и место программируемых логических контроллеров (ПЛК) в автоматизированных системах управления промышленными механизмами и технологическими комплексами. Однако наличие различных ПЛК ставит вопрос о их выборе для решения поставленных задач. Большинству потребителей требуется не превосходство одной какой-то характеристики, а некая интегральная оценка, позволяющая сравнить ПЛК по совокупности характеристик и свойств.

Программно реализуемые функции системы управления во многом определяют технические характеристики технологического контроллера, а точнее технические характеристики микропроцессорных устройств (однокристальных микроконтроллеров (ОМК) или микропроцессоров (ОМП)), на основе которых и реализуется контроллер. Основными характеристиками, по которым ведут выбор технологических контроллеров являются: разрядность процессора; быстродействие; объем адресуемой памяти (ОЗУ и ПЗУ); особенности системы команд.

Важную роль при выборе технологических контроллеров играет номенклатура встроенных или внешних периферийных устройств (таймеров, последовательных интерфейсов, параллельных портов ввода-вывода, АЦП, модулей ШИМ, модулей обработки прерываний и др.), возможность режимов пониженного элек-

требления, характеристики питающего напряжения. В некоторых случаях промышленного применения контроллеров важны такие параметры как: диапазон рабочих температур, потребляемая мощность.

Один из самых важных параметров ПЛК – быстродействие в каталогах фирм указывается в совершенно разных вариантах. Могут фигурировать время выполнения бинарных команд, время опроса 1К дискретных входов, время выполнения смешанных команд и т.д.

При выборе технологического контроллера важным является также его цена. Одни фирмы приводят их в американских долларах, другие - в евро, при этом курс иностранной валюты очень разный и всегда завышенный. А если еще учитывать многочисленные системы скидок, то задача выбора усложняется.

При выборе контроллера важным является наличие развитого инструментального обеспечения по его программированию: кросс-компиляторов с языков высокого уровня, программ отладчиков, операционных систем реального времени, инструментальных сред разработки ПО с использованием CASE-средств.

Спектр ПЛК, предлагаемой сегодня, чрезвычайно широк. В п. п. 9.1 приведены некоторые характеристики ПЛК различных фирм, наиболее распространенных в России. Кроме параметров CPU, также указаны параметры для интеллектуальных модулей. Все они построены по магистрально-модульному принципу, монтируются на панель или DIN-рейку, работают от напряжения +24 В, поддерживают протоколы обмена Fieldbus, имеют широкий набор модулей: модули дискретных входов/выходов; коммуникационные модули; модули аналогового ввода/вывода; модули терморегуляторов; модули позиционирования; модули ПИД-регулятора; модули контроля движения.

Как видно из приведенного обзора, контроллеры имеют равные функциональные возможности, близкие технические и эксплуатационные характеристики и даже почти одинаковые размеры и вес. В такой ситуации необходимо определить критерии оценки и выбора ПЛК, удовлетворяющего поставленной задаче.

Учитывая специфику устройств, критерии оценки можно разделить на три группы: технические характеристики; эксплуатационные характеристики; потребительские свойства.

При этом критериями выбора считать потребительские свойства, т.е. соотношение показателей затраты/производительность/надежность, а технические и эксплуатационные характеристики ограничениями для процедуры выбора.

Выбор ПЛК производится в четыре этапа:

1. Определение соответствия технических характеристик предъявленным требованиям;
2. Определение соответствия эксплуатационных характеристик предъявленным требованиям;
3. Оценка потребительских свойств выбираемой аппаратуры;
4. Ранжирование изделий.

На первом этапе каждая техническая характеристика анализируемого ПЛК сравнивается с предъявленными к проектируемой системе требованиями, и если данная характеристика не удовлетворяет этим требованиям, ПЛК снимается с рассмотрения.

Такой же анализ проводится на втором этапе с эксплуатационными характеристиками, и только если технические и эксплуатационные характеристики соответствуют поставленной задаче и предъявленным требованиям, проводится оценка потребительских свойств ПЛК.

Для этого используются различные методы, например, аддитивный метод оценки (ГОСТ 15467-79).

Определение весовых коэффициентов для характеристик ПЛК является ответственной задачей, т.к. от их правильного расчета зависит достоверность результатов анализа. Далее находится усредненная оценка каждого коэффициента. Составляется таблица эксперт - коэффициентов, в которой проставляются полученные от каждого эксперта оценки коэффициентов по определенной шкале (например, от 0 до 10).

Ранжирование изделий, т.е. расположение их в порядке возрастания (или убывания) соотношения показателей затраты/производительность/надежность целесообразно проводить по формуле: $P = П+Н+З$, где П – производительность; Н –надежность; З – затраты.

Отдельными фирмами (например, EMERSON Process Management) разработаны опросные листы для выбора технологического контроллера. В этом опросном листе для выбора контроллера необходимо ответить на такие вопросы, как:

1. Наименование системы (объекта управления);
2. Назначение контроллера: только сбор данных; дискретное управление; непрерывное управление и т. д.);
3. Количество сигналов ввода/вывода: аналоговый вход; аналоговый вы-

ход; вход "сухой контакт"; дискретный вход 24 В; дискретный выход 24 В; дискретный выход релейный; импульсный вход и т. п.;

4. Количество и тип коммуникационных портов: RS-232 (до 15 м); RS-485 (до 1500 м) и др.;

5. Поддерживаемые коммуникационные протоколы: Profibus; Modbus; Hart и др.;

6. Условия размещения контроллера: в отапливаемом помещении; в не отапливаемом помещении; вне помещения и др.;

7. Защитный кожух: не требуется; требуется (IP66); для монтажа на открытой площадке; для монтажа на стене/трубе и т.д.;

8. Внешний жидкокристаллический дисплей: не требуется; требуется;

9. Температура окружающей среды, °С;

10. Напряжение питания на объекте: 220 В переменного тока; 24 В постоянного тока; 12 В постоянного тока; отсутствует;

11. Контроллер нужно укомплектовать программным обеспечением: для сбора и отображения данных (SCADA); OPC сервером; DDE сервером; другое.

При выборе датчиков рассматриваются следующие характеристики: линейность и однозначность статической характеристики; высокие чувствительность (крутизна) и разрешающая способность; стабильность характеристик во времени; отсутствие влияния нагрузки на статические характеристики; минимальная инерционность; минимальное влияние внешних факторов (температуры, вибраций и т. д.); устойчивость к химическим воздействиям контролируемой и окружающей среды; простота и технологичность конструкции; взаимозаменяемость (повторяемость характеристик); удобство монтажа и обслуживания. Выбор типа датчика определяется требованиями по точности системы, ее назначением и условиями эксплуатации.

Вопросы для самопроверки

1. Расскажите об основном назначении и характеристиках промышленных компьютеров и программируемых логических контроллеров?
2. Раскройте структуру программируемых контроллеров.
3. Расскажите о принципах выбора промышленных компьютеров и программируемых логических контроллеров.
4. Дайте характеристику программируемым модульным контроллерам.
5. Приведите классификацию модулей ввода/вывода программируемых контроллеров.

6. Расскажите об основном назначении и характеристиках рабочих станций?
7. Расскажите об основном назначении и характеристиках микроконтроллеров?

Глава 10. Промышленные информационные сети в системах автоматизации и управления техническими объектами и технологическими процессами

10.1. Информационные сети

10.1.1. Структура сетей

Средства коммуникаций обеспечивают создание сетей для обмена данными между различными компьютерными средствами автоматизации. К ним относятся модули коммуникационных процессоров для соединения контроллеров "точка–точка" и для адаптеров магистральных интерфейсов связи, коаксиальные и оптоволоконные кабели, повторители, интерфейсные мультиплексоры и др. Структура информационных сетей может быть магистральной (линейной), радиальной (типа "звезда"), кольцевой и древовидной. При создании систем отдают предпочтение магистральным структурам, которые по сравнению с другими структурами имеют меньшие затраты при прокладке кабелей, легко расширяются и позволяют осуществлять непосредственную коммуникационную связь от абонента к абоненту через единственную линию передачи данных. Как правило, сети делаются открытыми для интегрирования компьютерных средств автоматизации различных производителей. С этой целью выпускаются мосты и межсетевые преобразователи для связи различных локальных сетей и интерфейсов.

Из разнообразных типов средств коммуникации можно создавать сети, оптимально приспособленные к топологии технологического комплекса и обеспечивающие требуемые объемы и скорости передачи информации.

Для связи агрегатов в технологическом комплексе, а также для единого управления комплексами на производстве, применяются локальные промышленные сети. В настоящее время в промышленности применяется большое количество сетей, обобщенные данные некоторых из них представлены в табл. 10.1. Наиболее известными и часто используемыми являются сети: Industrial Ethernet, ETHWAY, MAPWAY, PROFIBUS, MODBUS, MODBUS PLUS, FIPIO, UNI-TELWEY, FIPWAY, MASTERBUS.

Промышленные сети, как правило, имеют трехуровневую структуру построения.

На нижнем уровне обеспечивается взаимодействие между агрегатами (их подключение и обмен информацией между ними), что дает возможность: 1) экономии модулей входов/выходов; 2) простого и быстрого монтажа; 3) электропитания датчиков и исполнительных механизмов через коммуникационные линии; 4) функции самотестирования и параметрирования; 5) высокую помехозащищенность и др. На этом уровне соединяются датчики и исполнительные механизмы с системой автоматизированного управления. Максимальная длина соединительной линии примерно 100 м без повторителей и около 300 м с повторителями.

Таблица 10.1

Протокол	Среда передачи	Число узлов	Скорость передачи данных, кбод	Длина линий	Топология сети	Принцип доступа к сети
BITBUS	витая пара, радиоканал, оптопара	до 250	до 1400	От 30 м до 1200 м	шина	MASTER/SLAVE
ASI	витая пара, ASI-кабель	до 32	до 167	до 1000 м	линия; звезда; дерево; кольцо	MASTER/SLAVE
HART	витая пара, выделенный телефонный канал	до 15	1200	до 3 км	звезда	MASTER/SLAVE
LonWorks	витая пара, коаксиал, оптокабель, радиоканал	до 127	4,88-1250	до 2 км	Произвольная топология	произвольный доступ (CSMA/CD)
CANBUS	витая пара	до 30	50-1000	до 1 км - 20 кбод; до 40 м - 1 Мбод	шина	произвольный доступ по приоритету (CSMA/CM)
WorldFIP	витая пара, оптокабель	до 256	31,25; 1000; 2500; 5000	до 2 км	шина	MASTER/SLAVE/TOKEN
MODBUS	не специфицирован	1master до 247 slaves	0,6-19,2	15 м – RS232C; 1200 м – RS422; 1000 м - токовая петля	звезда; шина	MASTER/SLAVE/TOKEN

PROFIBUS	витая пара, оптокабель	до 126	500-1500 (FMS); 1500-12000 (DP); 31 (PA)	1200 м; 4800 м с повторителем; до 23 км оптокабель	звезда; шина	MASTER/ SLAVE/ TOKEN
----------	------------------------	--------	--	--	--------------	----------------------------

Средний уровень предназначен для координации работы всех агрегатов, входящих в технологический комплекс, для получения информации от каждого из них, визуализации режимов работы комплекса. Протяженность сети может быть от 1200 м до 100 км в зависимости от физической среды передачи данных и применения повторителей.

Верхний уровень (административный уровень) предназначен для связи с системой управления производством.

Основные требования предъявляемые к промышленным сетям:

- выполнение разнообразных функций по передаче данных, включая пересылку файлов, поддержку терминалов, обмен с внешними запоминающими устройствами, обработку сообщений, доступ к файлам и базам данных, передачу речевых сообщений;
- подключение большого набора стандартных и специальных устройств, в том числе оборудования контроля и управления и др.;
- подключение как современных и перспективных, так и ранее разработанных устройств с различными программными средствами, архитектурой, принципами работы;
- доставка с высокой достоверностью информации адресату;
- обеспечение непосредственной взаимосвязи между подключенными устройствами без промежуточного накопления и хранения информации;
- простота монтажа, модификации и расширения сети; подключение новых устройств и отключение прежних без нарушения работы сети длительностью более 1 с.

Требования к взаимодействию устройств в сети:

- возможность для каждого устройства связываться и взаимодействовать с любым другим устройством;
- обеспечение равноправного доступа к физической среде для всех пользователей;
- возможность адресации пакетов информации одному устройству, груп-

пе устройств, всем подключенным устройствам.

Информационные требования:

- должны быть обеспечены "прозрачный" режим обслуживания, а также возможность приема, передачи и обработки любых сочетаний битов, слов и символов;

- пропускная способность сети не должна существенно снижаться при достижении полной загрузки.

Требования к надежности и достоверности:

- отказ или отключение питания подключенного устройства должны вызывать только переходную ошибку;

- средства обнаружения ошибок должны выявлять все пакеты, содержащие до четырех искаженных битов. Если же достоверность передачи достаточно высока, сеть не должна сама исправлять обнаруженные ошибки: функции анализа, принятия решения и исправления ошибки должны выполняться подключенными устройствами.

Предъявленные требования обуславливают основные особенности промышленных сетей: возможность размещения их на сравнительно небольшой территории; наличие высокоскоростного общего канала (физической среды); отсутствие применения средств и методов сетей общего пользования и без накладывания ограничений на эти сети; соединение в сетях самых разнообразных и независимых устройств (термин "высокоскоростной канал" имеет условный характер, поскольку скорость передачи оценивается только по отношению к подключенным устройствам).

10.1.2. Сетевые средства

Основным сетевым средством любой сети является интеллектуальный коммуникационный процессор, позволяющий подключать персональные компьютеры, программируемые контроллеры, программаторы и другие устройства и осуществляют их взаимодействие с системой управления. Основными характеристиками коммуникационного процессора являются: тип монтажной шины (слота), скорость передачи данных, количество соединений и потребление тока. Коммуникационные процессоры выпускаются с монтажными слотами следующих типов: ISA, PCMCIA, PCI. Скорость передачи данных у коммуникационных процессоров колеблется от 9,6 кБит/с до 12 Мбит/с сетей среднего уровня и от 10 – 100 Мбит/с сетей верхнего уровня.

Для подключения к сети активных и пассивных оконечных устройств применяются: шинные терминалы RS485; шинные штекеры; трансиверы и другие специальные модули (например, Optical Bus Terminal для подключения устройств к оптической сети).

Технологические комплексы могут использовать несколько децентрализованных систем управления, связанных друг с другом мощной информационной сетью. В этом случае для их совместной работы применяют коммутаторы или маршрутизаторы.

На нижнем уровне для подключения датчиков и исполнительных механизмов используют различные модули. Целый модуль состоит из верхней части (пользовательский модуль) и нижней части (монтажный модуль). Обе эти части имеют различные исполнения. Для монтажных модулей возможна либо установка на профильную планку, либо крепеж с помощью винтового соединения. Пользовательские модули по своим функциям соответствуют обычным модулям входов/выходов.

Для передачи информации на большие расстояния применяют повторители, позволяющие конфигурировать сети состоящие из нескольких сегментов.

Физическая среда сетей представляет собой физический материал по которому передается информация. В качестве такого материала могут использоваться различные виды кабелей (типа "витая пара", коаксиальные, многожильные, волоконно-оптические), а также эфир (радиоканалы, УКВ-каналы, инфракрасные каналы).

Кабель состоит из проводников, слоев экрана и изоляции. В некоторых случаях в состав кабеля входят разъемы, с помощью которых кабели присоединяются к оборудованию. Кроме этого, для обеспечения быстрой перекоммутации кабелей и оборудования используются различные электромеханические устройства, называемые кроссовыми секциями, кроссовыми коробками или шкафами.

В сетях применяются кабели, удовлетворяющие определенным стандартам, что позволяет строить кабельную систему сети из кабелей и соединительных устройств разных производителей. Сегодня наиболее употребительными стандартами в мировой практике являются следующие: Американский стандарт EIA/TIA-568A; Международный стандарт ISO/IEC 11801; Европейский стандарт EN50173.

В кабеле "витая пара" обычно используются несколько пар изолирован-

ных проводов, обвитых вокруг друг друга. Взаимная обвивка обеспечивает защиту от собственных и внешних наводок. Кабель с витой парой бывает двух типов: неэкранированным и экранированным. Стандарт EIA/TIA 568A Commercial Building Wiring Standard определил семь категорий кабелей на неэкранированной витой паре (Unshielded Twisted Pair, UTP1...UTP7). Наиболее современным является кабель UTP 5. Он способен работать со скоростью 100 Мбит/с и его волновое сопротивление должно составлять 100 Ом в диапазоне частот от 1 МГц до предельной. Для кабеля UTP 5 установлено минимальное число взаимных скручиваний на единицу длины (примерно, 26 на 1 м). Его основными недостатками являются: взаимное наложение сигналов между смежными проводами, чувствительность к внешним электромагнитным полям, большая степень затухания сигнала по пути, чем у кабелей других типов.

Кабели категорий 6 и 7 промышленность начала выпускать сравнительно недавно. Для кабеля категории 6 характеристики определяются до частоты 200 МГц, а для кабелей категории 7 – до 600 МГц.

Все кабели UTP выпускаются в 4-парном исполнении. Каждая из четырех пар кабеля имеет определенный цвет и шаг скрутки. Для соединения кабелей с оборудованием используются вилки и розетки, представляющие 8-контактные разъемы.

Экранированная витая пара (Shielded Twisted Pair, STP) отличается тем, что содержит электрически заземляемую медную оплетку или алюминиевую фольгу. Существуют кабели, как с общим экраном, так и с экраном вокруг каждой пары. Экран обеспечивает защиту от всех внешних электромагнитных полей. Однако по скорости передачи данных и по ограничениям, накладываемым на максимальное расстояние, такие кабели идентичны кабелям без экранирования.

Коаксиальные кабели (RG-8, RG-11, RG-58/U, RG-58 A/U, RG-58 C/U, RG-59) способны передавать данные со скоростью 10 Мбит/с на расстояние до 500 м. Минимальное расстояние между точками подключения не должно быть меньше 2.5 м. Они имеют волновое сопротивление 50 Ом или 75 Ом.

Оптоволоконный кабель состоит из свободно уложенных или определенным образом скрученных волоконных световодов и защитного покрытия. Передача данных производится при помощи лазерного или светодиодного передатчика, который генерирует световые импульсы, проходящие через световоды. Перед тем как попасть в световод, сигнал от передатчика (излучателя) проходит

через оптическое согласующее устройство и через оптический разъемный соединитель (коннектор). На принимающем конце сигнал воспринимается фотодиодом, который преобразует его в электрический ток. Оптоволоконный кабель обладает рядом преимуществ. К ним можно отнести: 1) малое затухание и независимость затухания от частоты передаваемого сигнала; 2) высокую степень защиты от внешних электромагнитных полей; 3) исключение несанкционированного доступа к данным.

В зависимости от условий распространения световой волны в центральном световоде оптические кабели делятся на одномодовые (single mode – SM) и многомодовые (multi mode – MM). Максимальная длина кабеля (412 м) определяется временными параметрами. Полоса пропускания одномодового кабеля очень широкая – до сотен гигагерц на километр. Мномодовые кабели имеют более узкую полосу пропускания – от 500 до 800 МГц/км. Сужение полосы происходит из-за потерь световой энергии при отражениях, а также из-за интерференции лучей разных мод. Для передачи информации применяется свет с длиной волны 1550 нм (1,55 мкм), 1300 нм (1,3 мкм) и 850 нм (0,85 мкм). Светодиоды могут излучать свет с длиной волны 850 нм и 1300 нм.

Волоконно-оптические кабели присоединяют к оборудованию разъемами MIC, ST и SC. Волоконно-оптические кабели обладают отличными характеристиками всех типов: электромагнитными, механическими (хорошо гнутся, а в соответствующей изоляции обладают хорошей механической прочностью). Однако у них есть один серьезный недостаток – сложность соединения волокон с разъемами и между собой при необходимости наращивания длины кабеля.

Для работы промышленной сети используется программное обеспечение позволяющее: 1) реализовывать связь между собой активных аппаратных устройств, входящих в сеть любого уровня; 2) производить обмен данными в сети; 3) реализовать различные режимы передачи данных по сети; 4) реализовывать функции удаленного программирования контроллеров по сети; 5) реализовать функции диагностики и др.

10.2. Управляющие и сетевые средства электроприводов

Алгоритмы управления электромагнитными и механическими переменными в системах комплектных электроприводов реализуются на базе как встро-

енных в электропривод, так и внешних модулей и блоков управления – программируемых контроллеров, средств приема и передачи информации.

Модули контроля и управления в составе комплектных электроприводов представлены базовыми платами управления электроприводов с встроенным программным обеспечением, позволяющим конфигурировать различные структуры управления электромагнитными и механическими переменными в зависимости от прикладных задач, решаемых комплектным электроприводом. Платы управления электроприводов содержат определенный набор дискретных и аналоговых входов/выходов, интерфейсов для связи с другими приводами, датчиками, системами автоматизации верхнего уровня. Базовые функции плат управления могут быть расширены за счет установки дополнительных прикладных карт связи и управления, использования внешних программируемых контроллеров. Функциональность базового программного обеспечения и производительность микропроцессорной системы управления электропривода зависит от сферы его применения, которая определяется фирмой-производителем при выпуске определенной серии преобразователей. Например, преобразователи частоты Simovert VC используются при высоких требованиях к точности и динамике регулирования. Базовая плата управления преобразователя CUVC содержит разъем для подключения импульсного датчика скорости, четыре двунаправленных цифровых входа/выхода, три цифровых входа, два аналоговых входа и два аналоговых выхода (рис. 10.1).

Предусмотрена установка в преобразователь до шести дополнительных карт расширения, в том числе технологических плат T100, T300, T400 с модулями программного обеспечения, адаптированного для решения конкретных задач. В базовом программном обеспечении платы управления предусмотрены блоки, которые могут быть запрограммированы пользователем с помощью системы ВІСО-параметрирования (Binector/Connector). Таким образом, увеличивается адаптивность преобразователя к требованиям пользователя. Информация между функциональными блоками системы управления передается с помощью так называемых "коннекторов", которые представляют собой 16-и и 32-битные сигналы, или "бинекторов", по сути являющиеся теми же коннекторами, но для передачи логических сигналов. Возможно написание программ обработки данных сигналов с помощью библиотеки из 240 свободных функциональных блоков, доступных в базовом программном обеспечении. В качестве свободных блоков доступны следующие функции:

- Блоки общего назначения: фиксированные задания, блоки индикации; преобразовательные блоки, диагностические блоки;

- Арифметические и управляющие блоки: сумматоры, умножители, делители, генераторы абсолютного значения, фильтры, инверторы знака, ограничители, сигнализаторы предельных значений, выбор минимума и максимума, таймеры, элементы памяти, произвольные характеристики;

- Логические блоки: элементы И, ИЛИ, исключающее ИЛИ, НЕ, И-НЕ, RS-триггеры, D-триггеры, таймеры, генераторы импульсов;

- Сложные блоки: задатчик интенсивности, программный счетчик, ПИД регулятор, генератор колебаний, управление тормозом и др.

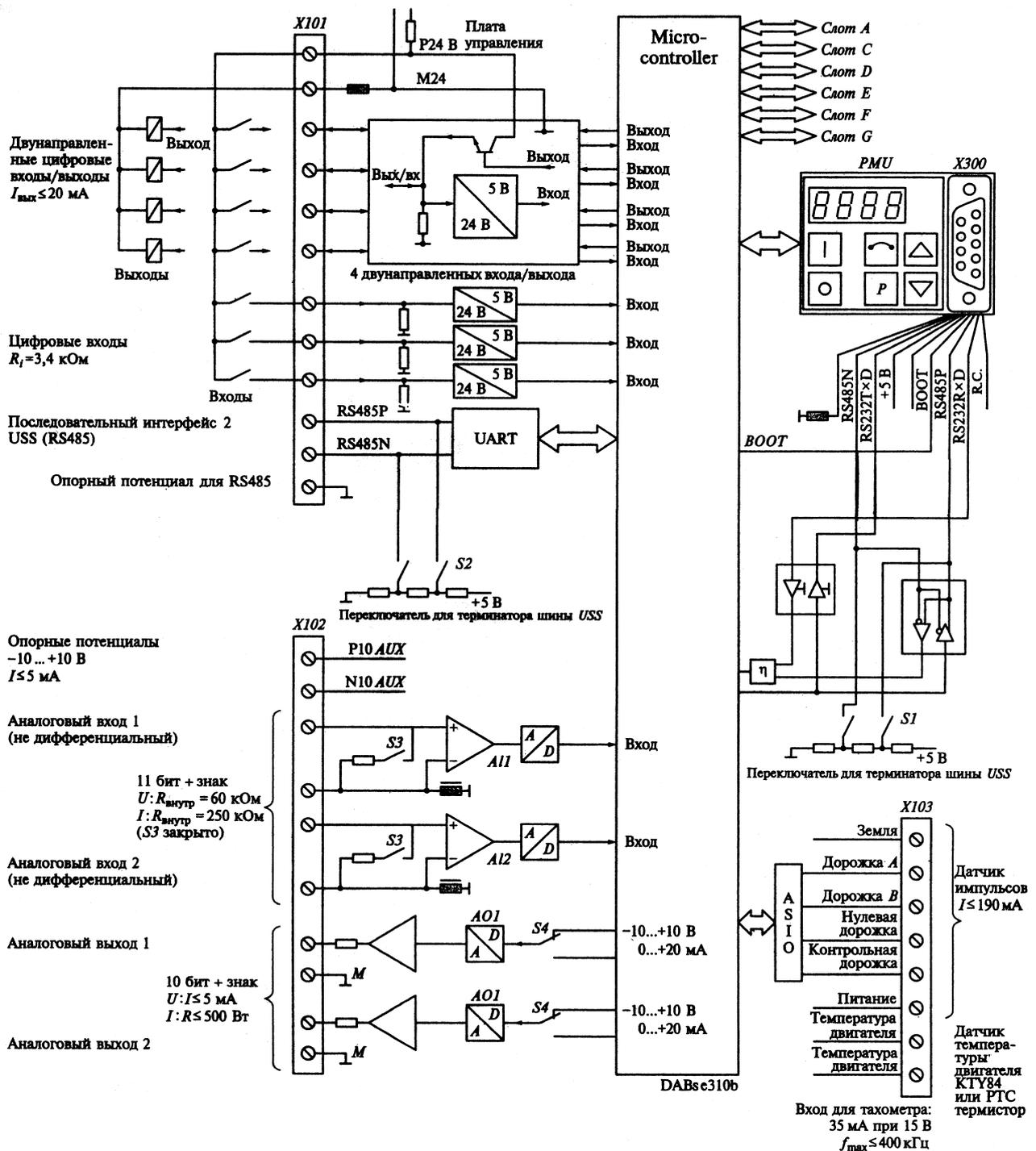


Рис. 10.1. Микропроцессорная система управления электроприводом

Интерфейсные и сетевые средства электроприводов. Передача данных на нижних и средних уровнях автоматизации между программируемыми контроллерами, приводами, датчиками, средствами визуализации и управления технологическим процессом осуществляется по стандартизованным сетевым протоколам. Рассмотрим наиболее известные промышленные сети.

Profibus представляет собой международный, открытый стандарт полевых шин с широким диапазоном применения в автоматизации технологических

и производственных процессов. Независимость от производителя и открытость стандарта гарантируются международными нормами EN 50170 или IEC 61158. Profibus-DP является одним из профилей коммуникации этого стандарта. Он оптимизирован на быструю, критичную по времени передачу данных на поле-вом уровне при минимальной стоимости подключения. Profibus-DP может выступать в качестве замены как обычной, параллельной передачи сигналов 24 В в системах автоматизации производства, так и для передачи сигналов в аналоговом виде 4...20 мА в системах автоматизации технологических процессов. Profibus-DP является многомастерной системой и благодаря этому обеспечивает совместную работу нескольких систем автоматизации, визуализации или инжиниринга с децентрализованными периферийными устройствами на одной шине. Profibus-DP подразделяется на мастеров и ведомые устройства. Мастер-аппараты определяют обмен данными на шине и в литературе носят название «активных» абонентов. Мастер может выдавать информацию без внешнего запроса, если он обладает правом обращения к шине (Token). Мастера делятся на 2 класса: мастер 1 класса – под этим подразумеваются центральные устройства автоматизации (напр., контроллеры SIMATIC S5, S7), которые ведут обмен информации с подчиненными (ведомыми) устройствами по заданным циклам; мастер 2 класса – к аппаратам этого класса относятся программаторы, проектирующие устройства или аппараты обслуживания и наблюдения, которые используются для конфигурирования, ввода в эксплуатацию или для наблюдения за линиями в ходе работы. К ведомым аппаратам относятся полевые устройства, как например, преобразователи частоты, приводы постоянного тока, периферия ввода/вывода и регулирующие клапаны. Они не имеют права обращения к шине, т.е. они могут только квитировать полученные сообщения или выдавать их по запросу одного из мастеров. Ведомые устройства называют также «пассивными» абонентами.

Техника передачи данных по физическому интерфейсу RS-485. При выборе техники передачи решающее значение имеют такие критерии, как высокая скорость передачи и простая, экономичная установка и подключение. Для этой цели обычно применяется скрученный, экранированный медный 2-х жильный кабель. Скорость передачи может устанавливаться в диапазоне от 9,6 кБод до 12 МБод. Она выбирается единой для всех аппаратов шины при наладке системы. Все аппараты подключаются в одной структуре шин (линии). Один сегмент может объединять до 32 абонентов (мастеров или ведомых). В начале и конце

каждого сегмента шина завершается активным концевым устройством. Для исправной работы должно обеспечиваться бесперебойное питание обоих концевых устройств. Эти устройства обычно реализуются в аппаратах или в разъемах для подключения шин. При более чем 32 абонентах или при увеличении протяженности сети должны устанавливаться репитеры (усилители) для соединения отдельных сегментов шины.

Техника передачи данных по оптоволоконному каналу. Для использования в среде с высокой степенью помех, для разделения потенциалов или для увеличения дальности действия при высоких скоростях передачи в стандарте Profibus-DP могут использоваться оптоволоконные каналы. Предлагаются разные типы каналов, отличающиеся друг от друга дальностью действия, ценой и областью применения. В табл. 10.2 приведены наиболее распространенные типы оптоволоконных каналов.

Таблица. 10.2

Тип оптоволоконного канала	Характеристики
Мультимодовое (Multimode) стекловолокно	Для линий средней длины – 2...3 км
Одномодовое (Monomode) стекловолокно	Для длинных линий >15 км
Пластмассовое волокно	Для коротких линий <80 м
Волокно PCS/HCS	Для коротких линий <500 м

Оптоволоконные сегменты шин Profibus-DP могут образовывать лучевые или кольцевые структуры. Имеется также возможность сопряжения линий передачи данных по интерфейсу RS-485 и оптоволоконных каналов. Тем самым в любой момент обеспечивается возможность в пределах одной установки переходить с одного способа передачи на другую. Profibus-DP работает по принципу сети с передачей маркера, т.е. активные устройства (мастера) в логической круговой последовательности получают в течение определенного времени право передачи данных. В пределах этого временного окна мастер может общаться с другими мастерами или же обмениваться данными с ведомыми устройствами. Profibus-DP использует при этом в первую очередь способ "мастер – ведомый".

Протокол **DeviceNet** – это открытый сетевой стандарт, разработанный компанией Rockwell Automation в 1993г. DeviceNet служит для подключения устройств нижнего уровня автоматизации к технологическим контроллерам. Максимальная протяженность сегмента сети составляет 500 м. Суммарная протяженность линии с использованием репитеров может составлять до 3 км. Канал связи DeviceNet базируется на протоколе Controller Area Network (CAN).

Пакет данных протокола CAN состоит из заголовка протокола, идентификатора CAN, максимум 8 байт данных и конечной метки. Однако, метод передачи данных по протоколу DeviceNet позволяет расширить область передаваемых данных до любого требуемого размера. При необходимости передачи объема данных более 8 байт, протокол фрагментации разбивает данные на несколько последовательно передаваемых пакетов.

Протокол **CAN** (ControllerArea Network) описан в международном стандарте ISO DIS 11 898, в котором описаны только электрические компоненты физического уровня и уровня канала передачи данных (1 и 2 уровни в модели OSI). CiA (CAN in Automation) – международная ассоциация пользователей и производителей определила его использование для промышленных сетей в рекомендациях для сетей и проводников DS102-1. Например, передача предупреждений, ошибок, наборов параметров приводов. Максимальное количество узлов – 124. Протяженность линии связи зависит от выбранной скорости передачи данных.

Протокол **CC-Link** (Control & Communication Link) был разработан корпорацией Mitsubishi Electric для связи программируемых контроллеров с периферийными устройствами. В сети CC-Link существует один мастер-модуль и максимум 64 ведомых модулей. Мастер имеет адрес "0", ведомые модули - 1..64. CC-Link имеет шинную топологию. Скорость обмена данными может быть установлена от 156 КБит/с до 10 МБит/с. Протяженность линии связи зависит от выбранной скорости передачи данных.

Интерфейс **Simolink** предназначен для быстрого обмена информацией между приводами. Все узлы соединены последовательно в замкнутый круг. Коммуникационная плата SLB (Simolink-Board) необходима, чтобы включить преобразователь в сеть Simolink. Каждая такая плата является узлом, максимальное количество узлов в сети Simolink - 201. Данные передаются по оптоволоконному кабелю (пластиковому или стеклянному). Сеть имеет кольцевую структуру, каждый узел служит усилителем сигнала. В зависимости от проводника, допустимы следующие расстояния передачи: не больше 40 м между узлами при пластиковом кабеле; не больше 300 м при использовании стеклянного кабеля.

Все узлы синхронизируются с помощью сигнала, посылаемого узлом, который в данный момент передает данные, и одновременно получаемого всеми остальными узлами. Сигнал посылается через одинаковые промежутки време-

ни, обеспечивая устойчивую синхронизацию. Время между синхронизациями рассчитывается адаптером и одновременно синхронизирует системные часы всех узлов сети. Передача данных строго циклична и происходит в момент начала следующего цикла шины. Это означает, что все данные, которые посылаются или принимаются узлами сети передаются в промежутке между двумя сигналами синхронизации. Это позволяет получать одновременно всем узлам самую последнюю информацию.

Вопросы для самопроверки

1. Каково назначение промышленных информационных сетей?
2. Приведите классификацию промышленных информационных сетей.
3. Какие топологии промышленных информационных сетей Вы знаете?
4. Назовите основные характеристики промышленных информационных сетей.
5. Какие модули связи применяются при организации сети в системах автоматизации технологическим процессом?
6. Что такое коммуникационный протокол?
7. Какие сетевые адаптеры применяются при организации сети в системах автоматизации?
8. Какие методы кодирования информации существуют в промышленных информационных сетях?
9. Какие виды и формы сигналов существуют?
10. Как определяется пропускная способность канала связи без помех?

Глава 11. Программное обеспечение систем автоматизации и управления

11.1. Программирование промышленных компьютеров, контроллеров, терминалов и интеллектуальных модулей

Программное обеспечение средств автоматизации. Все фирмы-производители средств автоматизации разрабатывают соответственно и программное обеспечение этих средств. Программное обеспечение имеет общие признаки в построении, интерфейсе проектировщика, системе команд и функций. Рассмотрим программное обеспечение для настройки и программирования различных средств автоматизации фирмы Omron.

Программные продукты объединены в серию CX основанную на коммуникационной платформе CX-Server (CX-Programmer, CX-Simulator, CX-Supervisor, CX-Motion, CX-Position, CX-Protocol). Эта коммуникационная платформа включает драйверы сетевой связи для всех программных протоколов OMRON, сетей Ethernet, Controller Link и последовательной связи.

Широкий набор программных средств CX обеспечивает одновременный доступ к различным программируемым логическим устройствам и сетям через CX-Server. Это повышает удобство и простоту обращения с оборудованием OMRON.

Данные программные средства выполняют функции: драйвера WINDOWS для обмена данными между системами ПЛК OMRON и Microsoft Office а также VBA, программирования для всех типов ПЛК, тестирования пользовательских программ, SCADA, настройки параметров модулей динамического управления CS1W-MC*** и C200H-MC221, настройки параметров модулей позиционирования CS1W-NC и CJ1W-NC, программирование коммуникационных модулей поддерживающих макро протокол.

CX-Programmer обеспечивает единую платформу программного обеспечения для программируемых логических контроллеров (ПЛК) OMRON всех типов: от микроконтроллеров до двухпроцессорных систем. Программатор упрощает преобразование и повторное использование управляющих программ, созданных с помощью программного обеспечения для ПЛК предыдущих поколений.

Усовершенствованная функция "сравнения проектов" позволяет детально сравнить программу ПЛК и персонального компьютера. За счет интеграции с другими программными средствами CX-Programmer обеспечивает совместное использование комментариев, что повышает скорость разработки и упрощает

эксплуатацию ПЛК.

Главной особенностью среды CX-Programmer является появление в ней, по аналогии со средствами для разработки программ для персональных компьютеров, функции компиляции программы. Фактически за этой возможностью стоит мощный анализатор текста программы, который производит проверку исходного текста и сигнализирует о фактических ошибках и фрагментах кода, выполнение которых может происходить неверно (например, использование одного и того же выхода в более чем одной цепочке). Благодаря этой возможности удастся резко сократить количество ошибок, оставшихся на момент отладки программы, а также сократить время её написания. Это время можно использовать для более тонкой настройки характеристик оборудования, а также для сокращения длительности и оптимизации рабочего цикла программы.

В состав функциональных устройств ПЛК, как правило, входят различные средства ввода и отображения информации, позволяющие осуществлять контроль за ходом технологического процесса. Такие устройства принято называть средствами человеко-машинного интерфейса.

NT-Shell программная среда разработки экранов терминалов (панелей оператора) серии NT. С помощью неё решаются следующие задачи, для всех без исключения NT-терминалов OMRON: создание и редактирование экранов, таблиц данных, строковых и цифровых таблиц; управление обменом данных между ПЛК и NT; ведение хронологии аварийных сообщений и вызовов экранов NT

CX-Supervisor – SCADA пакет компании OMRON с помощью которого имеется возможность создания приложений верхнего уровня управления. Простые приложения можно быстро создать с помощью большого кол-ва готовых функций и библиотек. За счет ясной прямолинейной структуры сокращается время на ознакомление с программой. С помощью OPC существует возможность установки связи с OPC серверами 2-ой версии. Поддержка баз данных SQL, ODBC, MS Access, dBase, CSV и MS Excel, а также импорт компонентов ActiveX позволяет создавать гибкие приложения с широкими функциональными возможностями.

Программирование промышленных компьютеров и программируемых контроллеров. Простые компьютерные средства автоматизации работают по жестким программам, заложенным в них при изготовлении. Их программирование для конкретных приложений заключается в записи необходимой для

управления информации: кодов режима, управляющих слов, бит разрешения или запрета, коэффициентов, пределов изменения данных и т. д. Таким способом программируются многие устройства низкого уровня: модули ввода/вывода, модули связи, специализированные контроллеры (локальные регуляторы), датчики и исполнительные устройства с микропроцессорным управлением.

Устройства управления более высокого уровня: программируемые логические контроллеры, системы числового программного управления, промышленные ПК, некоторые интеллектуальные регулирующие модули требуют написания программы управления оборудованием. Поэтому для их программирования используются специальные программные инструментальные средства. Эти средства могут находиться в самом устройстве управления, и тогда для программирования достаточно небольшой консоли, либо они находятся на специальном программаторе или ПК, тогда создаваемая с их помощью программа загружается в управляющее устройство по каналу связи.

Особенностями программ для устройств этого уровня являются наличие развитого математического аппарата обработки битовой информации, преимущественно целочисленная арифметика, большое разнообразие функций и функциональных блоков по анализу информации с датчиков, реализации законов управления и обмена по каналам связи. Эти программы реализуют основные алгоритмы автоматического управления. От них требуется хорошее быстродействие и высокая надежность.

Для систематизации разрабатываемых инструментальных пакетов программирования логических контроллеров разработан стандарт МЭК IEC-1131, который включает 5 языков[2].

В качестве примера инструментального средства для программирования контроллеров можно назвать пакеты SYSMATE-PMD (MS DOC) и SYSWIN (Windows) для контроллеров фирмы Omron, Simatic Step7 для контроллеров фирмы Siemens.

Программирование терминалов. Для удобной работы обслуживающего персонала с компьютерными системами управления в производственных условиях используются средства человеко-машинного интерфейса ММІ (Man Machine Interface), которые включают промышленные терминалы, информационные панели, консоли данных. Эти устройства также имеют средства программирования, которые используют те же типы данных, что и программируемые контроллеры, но предназначены для удобного ввода и наглядного представле-

ния оперативной информации о процессе управления. Входной язык для написания программ промышленных терминалов представляет собой набор графических образов элементов индикации, текстовых сообщений, цифровых и стрелочных дисплеев, диаграмм, экранов для графических зависимостей (трендов), кнопок, переключателей и других элементов управления. Все это поддерживается системой связи с данными программируемых контроллеров и системой организации экранного диалога. Примером такого пакета может служить пакет NTWin, предназначенный для программирования промышленных NT-терминалов фирмы Omron.

Общий контроль и управление технологическим процессом, сбор и архивирование данных, их статистическая обработка и документирование выполняются на верхнем уровне, где используются промышленные или обычные ПК. Эти устройства используют известные операционные системы и работают под управлением специальных программных приложений, разработанных в среде инструментальных средств систем дистанционного контроля, управления и диспетчеризации SCADA (Supervisor Control And Data Acquisition). Примером такой системы может служить пакет SCS, предназначенный для использования в автоматизированных системах управления, построенных на базе контроллеров фирмы Omron. Эти программные приложения могут дополняться или создаваться полностью на языках программирования общего назначения, например в среде Delphi или Visual C, или в пакетах систем управления базами данных.

Программирование интеллектуальных модулей. Под интеллектуальными модулями программируемого контроллера понимаются модули, которые обрабатывают данные по некоторому алгоритму независимо от центрального процессора, выполняющего основную программу управления. Фактически интеллектуальные модули являются сопроцессорами. Их можно разделить на 4 группы модулей, которые: вводят информацию, выполняя ее предварительную обработку, например модули высокоскоростного счета; выводят информацию, с представлением ее в требуемом виде, например ASCII-модули, предназначенные для масштабирования информации с учетом системы физических единиц и вывода ее на печать в удобном виде с текстовыми комментариями; вводят информацию, обрабатывают ее по определенным алгоритмам и выдают управляющие сигналы, например модули ПИД-регулирования или модули ЧПУ; берут информацию из памяти контроллера, обрабатывают ее по опреде-

ленным алгоритмам и возвращают снова в память контроллера, например модуль нечеткой (fuzzy) логики Omron C200H FZ001, реализующий законы управления, основанные на методах нечеткой логики.

Применение интеллектуальных модулей значительно расширяет функциональные возможности программируемых контроллеров, снижает объем работы по составлению основной управляющей программы, разгружает центральный процессор от ряда стандартных вычислений.

Некоторые из этих модулей имеют свое программное обеспечение для программирования. Например, для ввода базы знаний в модуль нечеткой (fuzzy) логики Omron C200H FZ001 используется инструментальный программный пакет FSS, который устанавливается на ПК и имеет связь с модулем по интерфейсному порту RS-232C. Он включает средства для формирования функций принадлежности входов и выходов, ввода правил, выбора метода дефазификации, а также для обмена данными с модулем, наблюдение за процессом принятия решений и отладки базы знаний.

Другие модули программируются с помощью данных, вводимых в модуль или память контроллера. Например, программирование интеллектуальных модулей контроллеров фирмы Omron осуществляется записью значений управляющих бит и слов в область памяти DM в режиме программирования. Оперативное управление и передача данных выполняются через область IR. Эти модули являются специальными модулями [10], поэтому адреса ячеек памяти, используемых ими, задаются переключателем на передней панели модуля.

11.2. Программирование контроллеров для реализации алгоритмов управления оборудованием

Управление по времени. Автоматическое управление в функции времени является одним из наиболее распространенных способов управления в дискретной автоматике. Алгоритм такого управления можно представить в виде двух частей: алгоритм формирования последовательности интервалов времени; алгоритм управления исполнительными устройствами в соответствии с интервалами времени.

Формирование последовательности интервалов времени выполняется с использованием устройств создания выдержек времени (реле времени или таймеров) или счетчика последовательности импульсов заданной длительности. В программируемых контроллерах предпочтительнее использовать первый способ, так как контроллеры допускают введение большого количества программ-

ных таймеров и такой подход удобнее при отладке системы управления и коррекции значений интервалов времени.

Последовательность интервалов времени формируется последовательностью таймеров, которые составляют генератор интервалов времени (ГИВ). Программная реализация ГИВ на языке релейно-контактных схем и пример программы управления по времени смесителем дан в [2, п. п. 4.3.4.]

Управление по состоянию объекта. Для управления по состоянию объекта необходимо иметь информацию об этом состоянии. Поэтому при разработке таких систем обязателен выбор датчиков. Количество датчиков и объем предоставляемых ими данных должны быть достаточными для получения полной информации об объекте, необходимой для решения конкретных задач управления.

Можно выделить два способа управления по состоянию объекта: последовательность действий (состояний объекта) жестко определена и информация с датчиков позволяет контролировать окончание действия или переход объекта в новое состояние, каждое новое действие начинается после окончания предыдущего; выбор нового действия (состояния объекта) определяется текущими значениями параметров, каждое новое действие начинается после того, как выполнятся необходимые для этого условия.

Первый способ называют также программным, а последовательность действий объекта, которая реализуется при этом управлении – программой. В общем случае управление может включать оба способа, например, в программе учитывается состояние параметров, в зависимости от которого потребуются та или иная последовательность действий.

Алгоритм жесткого последовательного управления по состоянию объекта. Автоматическое управление в функции состояния объекта при жесткой последовательности операций также является одним из распространенных способов управления в дискретной автоматике. Последовательность операций может выполняться однократно по одной команде или повторяться многократно в повторяющихся циклах. Алгоритм такого управления можно представить в виде двух частей: алгоритм формирования последовательности действий или шагов управления (отдельных операций, выполняемых в объекте управления); алгоритм управления исполнительными устройствами в соответствии с шагом управления.

Последовательность шагов (отдельных операций, выполняемых в объекте управления) формируется с использованием датчиков состояния объекта,

которые информируют систему управления об окончании текущей операции. Факт окончания предыдущей операции является необходимым условием начала следующей.

Различные шаги управления могут использовать одни и те же датчики или исполнительные устройства, поэтому необходимо фиксировать шаги. В этом случае работа датчиков на последующих шагах не будет влиять на предыдущие и, соответственно, на управляемые ими исполнительные механизмы. Для этого в программе каждый шаг управления связывается с битовой переменной (признаком шага), которая в момент активизации шага устанавливается в единичное состояние ON.

Таким образом, последовательность действий в объекте управления формируется программой, которая генерирует ряд шагов, последовательно устанавливая связанные с ними биты. По окончании последнего шага все признаки шагов сбрасываются. Если цикл необходимо повторить, то последний шаг должен опять запустить программу последовательности шагов.

Управление исполнительными механизмами определяется текущим шагом. Действие указывается для того механизма, который на этом шаге включается или выключается. Исходя из этого, формируется функция управления исполнительными устройствами: для каждого устройства определяется на каком шаге оно включается, на каком выключается.

Пример управления позиционным манипулятором по алгоритму жесткого последовательного управления схвата изложен в [2., п. п. 4.9.4.].

Алгоритм гибкого управления по состоянию объекта [10]. Для систем дискретного автоматического управления объектами с конечным числом состояний, у которых алгоритм перехода из одного состояния в другое определяется значениями параметров объекта и не имеет жесткой последовательности, могут быть использованы известные алгоритмы цифровых автоматов, например автомата Мура.

11.3. Программирование контроллеров для решения задач повышения надежности систем управления

Производители компьютерных средств автоматизации уделяют вопросам надежности большое внимание: проводят жесткий отбор аппаратных средств; вводят дополнительные элементы, например, сторожевой таймер; вводят дополнительные программы тестирования в процессе управления; контроль со-

хранности программы управления и данных; резервирование аппаратных средств и линий связи.

Результаты внутреннего тестирования и проверок компьютерных средств автоматизации фиксируются в служебной и архивной памяти. Эта информация доступна из управляющей программы, поэтому при разработке программ необходимо учитывать влияние возможных отказов на качество управления. При создании систем управления необходимо обращать внимание на ее устойчивость к отказам как при выборе технических средств, так и при проектировании схемы подключения и при разработке управляющей программы. Отказ всегда возможен, поэтому надо стремиться строить систему так, чтобы его своевременно обнаружить и минимизировать ущерб от его появления. Рассмотрим некоторые мероприятия по повышению надежности компьютерных систем управления.

Обрыв электрических цепей входных сигналов или замыкание их на корпус – одна из наиболее часто встречающихся неисправностей. Входом модуля ввода это состояние будет восприниматься как сигнал нулевого напряжения или тока. Одним из способов определить такую неисправность является выведение сигнала этого уровня из информационного диапазона. Например, для аналоговых сигналов используют сигналы напряжения от 1 до 5 В или тока 4...20 мА. Если входной сигнал меньше 1 В или 4 мА, то это означает, что входная цепь оборвана, в ней имеется плохой контакт или замыкание на корпус.

Для дискретных сигналов, где нулевой сигнал является информационным, управляющую программу необходимо строить так, чтобы появление аварийного нулевого сигнала не привело к опасным последствиям. Например, цепи, предназначенные для подачи сигнала останова, должны в исходном состоянии подавать сигнал высокого уровня, а сигнал останова – низким уровнем, т. е. сигнал подается инверсным. В этом случае обрыв цепи будет снимать высокий уровень, что равнозначно сигналу останова. Останов в большинстве случаев – более благоприятное последствие аварии, чем невозможность остановить.

Другим примером может служить подключение датчиков уровня откачивающей насосной станции [2]. Датчик минимального уровня, который останавливает насосы при снижении уровня ниже минимального, должен выдавать сигнал останова низким напряжением, потому что при отказе датчика из-за обрыва цепей напряжение на входе модуля ввода тоже будет отсутствовать и насосы остановятся. Таким образом, насос будет защищен от продолжитель-

ной непрерывной работы и от попадания воздуха в систему. Датчики более высокого уровня должны выдавать нулевой сигнал при повышении уровня. В этом случае при обрыве цепей этих датчиков насосы будут включаться чаще, но переполнения осушительной ямы не произойдет.

Контроль состояния датчиков позволяет косвенно определить их неисправность, например, когда датчик остается в каком-либо состоянии независимо от значения измеряемого параметра. В некоторых случаях такую неисправность можно определить по возникновению противоречивого, недопустимого в нормальных условиях эксплуатации состояния нескольких датчиков.

В рассмотренном ранее примере с датчиками уровней осушительной насосной станции таким противоречивым состоянием является случай, когда датчик минимального уровня показывает, что уровень ниже минимального, а датчики верхних уровней показывают, что уровень воды выше. В этом случае целесообразна выдача предупреждения обслуживающему персоналу о неисправности датчиков.

Явление "дребезга" дискретного датчика возникает из-за влияния различных шумов на работу датчиков (например, волнение поверхности воды для датчиков уровня, пульсации давления или потока вследствие работы насосов для датчиков давления и потока, дребезг датчиков приближения, когда они находятся на пороге чувствительности, и т. д.). Для борьбы с этим явлением устанавливают 2 датчика чтобы обеспечить гистерезис переключения, или берут датчик с гистерезисом переключения. Такой подход снижает точность определения значения параметра, но исключает возможные колебания и неоправданно частые переключения.

Другой способ борьбы с этим заключается в установке временных задержек на переключение сигнала. На входе устанавливается устройство или входной сигнал X при вводе обрабатывается программой так, чтобы сигнал X^* , направленный в алгоритм принятия решения, был равен входному, если тот был в одном из допустимых состояний более заданного интервала времени, иначе сигнал X^* сохраняет свое значение.

Защита от затянувшегося пуска и контроль продолжительности включения целесообразны для периодически работающих механизмов. Например, насосная станция гидравлики металлорежущего станка, которая включает насос и гидроаккумулятор, работает в основном при большом расходе гидравлики, когда дей-

ствуют вспомогательные механизмы: зажимы заготовки и инструмента, манипуляторы и т. д., а в процессе обработки заготовки лишь поддерживается давление в системе гидравлики. Насос такой гидростанции при неработающих гидравлических механизмах должен поднять давление в системе гидравлики за определенное время, превышение которого свидетельствует о неисправности: обрыве муфты насоса, течи в трубопроводах, неисправности в золотниках или гидроцилиндрах исполнительных устройств. Такой контроль целесообразен как при включении станка, так и в ходе выполнения технологического процесса.

Защита от частых пусков также полезна для периодически работающих механизмов. Слишком частые пуски насоса системы гидравлики являются свидетельством неисправности в системе, например утечки гидравлики, и ведут к быстрому износу оборудования.

Предупредительный и аварийный контроль значений технологических переменных является важным фактором повышения надежности. В автоматизированных системах управления на все регулируемые и измеряемые переменные в диапазоне их изменения устанавливаются предупредительные и аварийные максимальные и минимальные пределы. При выходе значения переменной за предупредительные пределы выдается сообщение оператору. При выходе значения переменной за аварийные пределы запускаются программы, которые переводят технологический процесс в режим, исключающий развитие аварийной ситуации.

Приведенные примеры предупреждения аварий и отказов не охватывают всего многообразия задач, которые возникают при создании надежных систем управления. В каждом конкретном случае необходимо подходить творчески и рассматривать различные варианты поведения системы и предусматривать соответствующие действия.

Вопросы для самопроверки

1. Какая структура программного обеспечения может быть в системах автоматизации и управления?
2. Какие операционные системы и системное ПО применяются в системах автоматизации и управления?
3. Назовите основные функции операционной системы.
4. По каким критериям осуществляется выбор операционной системы в промышленных компьютерах?

5. Какое прикладное ПО применяется в системах автоматизации и управления?
6. Изложите принципы программирования в системах автоматизации и управления.
7. Как программируются промышленные компьютеры и ПЛК?
8. Как программируются интеллектуальные модули технологических контроллеров?
9. Как программируются модули ввода аналоговых сигналов в технологических контроллерах?
10. Какие инструментальные средства существуют для разработки, отладки и сопровождения программного обеспечения?
11. Как решаются вопросы надежности при программировании технологических контроллеров?
12. Объясните принцип программирования алгоритмов по времени.
13. Объясните принцип программирования алгоритмов по состоянию объекта.
14. Объясните алгоритм жесткого последовательного управления.

Глава 12. Технические средства для отображения процессов в системах автоматизации и управления

12.1. Общие сведения

Устройствами отображения информации (УОИ) называются технические средства, предназначенные для создания динамических информационных моделей контролируемых или управляемых объектов. Для этого в УОИ входят индикаторы со схемами ввода информации, схемами управления, а в многофункциональных УОИ, работающих в АСУ ТП вместе с ПК, используются средства преобразования, хранения и обработки информации. УОИ предназначаются для повышения эффективности работы оператора-технолога в АСУ ТП за счет усиления его сенсорных, интеллектуальных и исполнительных функций. С этих точек зрения УОИ относится к группе устройств ГСП для использования командной информации в целях воздействия на процесс и для связи с оператором. В число этих устройств входят абонентские пульты, диспетчерские щиты, панели, разнообразные средства контроля и регулирования. УОИ могут выполнять и функции преобразования, и хранения информации. Многофункциональность УОИ, разнообразие областей их использования, разнообразие способов воспроизведения информации, различие инженерно-психологических признаков УОИ и ряд других характеристик приводят к многообразию способов классификации и типизации УОИ. Нашли распространение следующие типы УОИ [12]:

1. С электромеханическими и электромагнитными преобразовательными элементами: самопишущие показывающие и регистрирующие приборы, графопостроители, алфавитно-цифровые печатающие устройства (АЦПУ).
2. С использованием ламп накаливания: пульты, табло, мнемосхемы.
3. С газоразрядными приборами: табло с использованием тиратронов с холодным катодом, газоразрядные индикаторные панели для отображения знакографической информации.
4. С электролюминесцентными приборами индикации (панели и табло).
5. С жидкокристаллическими приборами (панели и табло).
6. С электронно-лучевыми трубками (ЭЛТ) прямого видения –

видеотерминальные средства оперативного взаимодействия (дисплей).

7. На базе ЭЛТ с проекцией (экраны коллективного пользования).

8. Оптические УОИ, использующие запись и представление информации в голографическом виде с применением лазеров.

По характеру отображаемой информации УОИ разделяют на знаковые (табло на знаковосинтезирующих индикаторах, знаковые дисплеи), графические (регистрирующие приборы электромеханические с записью на бумаге и фотобумаге, на ЭЛТ), знакографические или универсальные (мозаичные табло и мнемосхемы, АЦПУ, алфавитно-цифровые дисплеи).

По принципу формирования символа УОИ разделяются на знаковосинтезирующие, знакомоделлирующие и знакогенерирующие. Знаковосинтезирующие УОИ используют образование символа из отдельных дискретных элементов. Так, например, в мнемосхемах используются мнемосимволы, высвечиваемые лампами накаливания. В знако- и цифро-синтезирующих индикаторах синтез знаков и цифр осуществляется с помощью зажигания или гашения соответствующих индикаторных элементов.

По способу фиксации измерительную информацию можно представить в УОИ в виде: а) положения указателя на шкале индикатора; б) отдельного числа или таблицы чисел; в) кривой, графика или их совокупности; г) текста; д) изображения (цветного, одноцветного, контурного, плоскостного, объемного).

Выбор наилучшего типа УОИ в конкретных обстоятельствах должен решаться с учетом психофизиологических характеристик и особенностей человека, так как АСУ ТП работает в реальном масштабе времени и оператор-технолог должен принимать решения в темпе протекания технологического процесса. Среди психофизиологических характеристик отметим основные: 1. быстрдействие оператора (время решения задачи оператором, пропускная способность оператора при считывании символьной информации); 2. точность работы оператора; 3. надежность работы оператора; 4. психическая напряженность работы оператора.

Выбор типа УОИ в конкретных эксплуатационных условиях работы должен учитывать перечисленные фактуры. При выборе УОИ необходимо руководствоваться техническими характеристиками, состав которых

обусловлен эксплуатационными требованиями к АСУ ТП и психофизиологическими характеристиками оператора.

Основные технические характеристики УОИ следующие: быстроедействие, точность, информационная емкость, разрешающая способность, надежность работы.

Устройства отображения информации выполняют функции индикации или визуализации непрерывных или дискретных величин путем преобразования их в те или иные зрительные образы, удобные для оператора и содержащие количественную информацию. Так как 80% поступающей информации человек воспринимает через зрение, то наиболее широко применяются УОИ, отображающие информацию в виде линейных или угловых перемещений, графиков, таблиц чисел, рисунков. Акустические сигналы обычно выполняют либо вспомогательные функции при оценке состояния процесса (например, сигнализация об отклонениях от нормы, авариях и т. п.), либо служат для связи оператора с абонентами уровней АСУ ТП. Осязательные сигналы имеют вспомогательное значение и возникают в процессе работы оператора с органами управления на пультах, щитах, панелях. Здесь информативными признаками могут служить форма, размер, местоположение кнопок, рукояток, клавиш, ключей и т. п.

Регистрация (и хранение) аналоговой и дискретной (знаковой) информации также относится к основной функции УОИ.

12.2. Пульты, терминалы и станции оператора

Приборы оперативного управления и мониторинга включают в свой состав широкую гамму аппаратуры оперативного управления и контроля, масштабируемую по производительности и стоимости, степени защиты и возможности расширения. Достаточно широкий выбор устройств оперативного управления и контроля предлагает компания Omron (см. табл. 12.1).

Таблица 12.1

Технические данные	NT терминалы				
	NT2S	NT11S	NT20S	NT31/NT31C	NT631/NT631C
Размеры, мм	109x60x44	218x113x	190x110x5	195x142x54	315x250x54
Тип дисплея	2-х строчный	STN-LCD	STN-LCD, моно	STN-LCD, моно 8	STN-/TFT-LCD/EL Моно
Разрешение,	-	160x64	256x168	320x240	640x480
Размер	60x13	100x40	112x56	118.2x89.4	229x172
Индикаторы			128	256	256
Кнопки			72	256	256
ПЗУ КБайт		32	96	1024	1024
Число	250	250	50	4000	4000
Коммуникационные	Host Link	Host Link / NT Link	Host Link/NT	Host Link/NT Link (1:1/1	Host Link/NT/Link (1:1/1 :N)
Степень защиты	IP65F, NEMA4	IP65F, NEMA4	IP65F, NEMA4	IP65F, NEMA4	IP65F, NEMA4

Программируемые NT-терминалы Omron используются в качестве панелей оператора для контроля и управления технологическим оборудованием в режиме реального времени. Эти устройства позволяют отображать информацию, как в графическом, так и в символьном виде, а также вводить требуемые данные. Терминалы, предназначенные для панельного монтажа или монтажа в стойку, имеют степень защиты лицевой панели IP65. Исполнение дисплеев может быть основано на одной из трех технологий: EL, STN LCD, TFT LCD. Электр люминисцентная технология (EL) обеспечивает наилучший угол обзора, яркость и контрастность. Жидкокристаллическая (LCD) – отсутствие мерцания, точная геометрия, полное отсутствие рентгеновского излучения, продолжительный срок эксплуатации. Технические характеристики NT-терминалов приведены в табл. 12.1.

Программируемые терминалы серии NS характеризуются следующими параметрами: размер экрана 12.1 дюйм; разрешение 800x600; цветной дисплей 256 цветов; видео режим 60000 цветов; объем памяти (до 20МБ); поддержка Flash-карт памяти; удаленный доступ через Ethernet.

Вопросы для самопроверки

1. Какие типовые средства отображения существуют?
2. Какие типовые средства документирования информации существуют?
3. Какие принципы построения устройств взаимодействия с оператором Вы знаете?
4. Назовите классификацию и технические характеристики устройств взаимодействия с оператором.
5. Где применяются видеотерминальные средства и индикаторы?
6. Назовите основные технические характеристики видеотерминальных средств и индикаторов.
7. Где применяются пульты и станции оператора?
8. Назовите основные технические характеристики пультов и станций оператора.
9. Где применяются регистрирующие и показывающие приборы?
10. Назовите основные технические характеристики регистрирующих и показывающих приборов.

Библиографический список

1. Автоматизация типовых технологических процессов и установок: Учебник для вузов / А.М. Коротин, Н.К. Петров, С.Н. Радимов, Н.К. Шапарев. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 432 с.
2. Белов М.П., Новиков В.А., Рассудов Л.Н. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: Учебник для вузов. – М.: Издательский центр "Академия", 2004. – 576 с.
3. Домрачев В.Г., Матвиевский В.Г., Смирнов Ю.С. Схемотехника цифровых преобразователей перемещения: Справ. Пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 376 с.
4. Егоров В. Н., Иванов В. В., Торопов В. И. Элементы автоматизированного электропривода: Учеб. пособие. – Л.: СЗПИ, 1987.
5. Ильинский Н. Ф. Основы электропривода. Учеб. пособие для вузов. - М.: Издательство МЭИ, 2000.
6. Ключев В.И., Терехов В.М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов: Учебник для вузов. – М.: Энергия, 1980. – 360 с.
7. Мишель Ж. Программируемые контроллеры: Архитектура и применение / Пер. с фр. И. В. Федотова; Под ред. Б. И. Лыткина. – М.: Машиностроение, 1992. – 342 с.
8. Мотор-редукторы. SEW-Eurodrive. Каталог 1054 1659/RU. 2002.
9. Мячев А. А., Степанов В. Н., Щербо В. К.. Интерфейсы систем обработки данных: Справ. / Под ред. А. А. Мячева. М.: Радио и связь, 1989.
10. Прокопов А.А., Татаринцев Н.И., Цирлин Л.А. Компьютерные технологии автоматизации. Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2004. - 80 с.
11. Пятибратов А.П., Гудыко Л.П., Кириченко А.А. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации. 1997. – 452 с.
12. Родионов В. Д., Терехов В. А., Яковлев В. Б. Технические средства АСУТП: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 1989. – 262 с.

13. Свечарник Д.В. Электрические машины непосредственного привода: Безредукторный электропривод. – М. Энергоатомиздат, 1988.
14. Справочник по автоматизированному электроприводу/ Под ред. В.А. Елисеева и А.В. Шинянского. – М.: Энергоатомиздат, 1983.
15. Стандартные преобразователи частоты от 120 Вт до 250 кВт. Micromaster 410/420/430/440. Каталог DA 51.2. 2003/2004.
16. Energy-saving Type Mitsubishi High-voltage Inverter MELTRAC-F500HV Series. 2000.
17. Leine&Linde Encoders. Art.nr. 600089. Version 1-2002.
18. OMNUC W Series. AC servomotors/servodrives. User's manual. Cat. No. I531-E2-02. 2002.
19. Simatic. Комплексная автоматизация производства. Каталог ST80&PCS7. 2003-2004.
20. SIMATIC. Комплексная автоматизация производства: Каталог ST 70 Ч. 1– Ч.2. М.: Департамент А&D, 2001.
21. Simovert MV. Приводы на среднее напряжение от 660 kVA до 7700 kVA. Каталог DA 63. 2001.
22. Simovert Masterdrives. Vector Control. Catalog DA 65.10.-2001.
23. Sinumeric&Simodrive. Системы ЧПУ, электроприводы, двигатели, соединительная техника, для станков и обрабатывающих машин. Каталог NC 60-2002.

Оглавление

Предисловие	3
1 Типовые структуры и средства систем автоматизации и управления техническими объектами и технологическими процессами	5
1.1. Общие положения	5
1.2. Классификация и структура современных технологических объектов управления	6
1.3. Назначение и характеристика современных АСУ ТП	9
1.4. Типовая структура автоматизированных технологических комплексов	14
2 Электрические машины постоянного тока	20
2.1. Основные уравнения	20
2.2. Характеристики и режимы при независимом возбуждении ($U = \text{const}$)	21
2.3. Характеристики и режимы при независимом возбуждении ($I = \text{const}$)	23
2.4. Характеристики и режимы при последовательном возбуждении....	24
2.5. Регулирование координат в разомкнутых структурах	28
3 Электродвигатели переменного тока	36
3.1. Общие сведения	36
3.2. Модели асинхронного электропривода	37
3.3. Механические характеристики	41
3.4. Регулирование координат двигателя с короткозамкнутым ротором	45
3.5. Регулирование координат двигателя с фазным ротором	48
3.6. Синхронный двигатель	51
3.7. Сервоприводы	53

3.8.	Высоковольтные электроприводы	55
3.9.	Мотор-редукторы	58
4	Управляемые преобразователи напряжения и частоты	62
4.1.	Управляемые преобразователи и их компоненты для низковольтных систем электроприводов переменного тока	62
5	Исполнительные устройства и механизмы	72
5.1.	Исполнительные устройства	72
5.2.	Передаточные механизмы	74
5.2.1.	Передаточные механизмы линейных движений	75
5.2.2.	Передаточные механизмы круговых движений	77
6	Контрольно-измерительные средства систем автоматизации и управления техническими объектами и технологическими процессами.	80
6.1.	Общие сведения	80
6.2.	Датчики электромагнитных переменных	81
6.3.	Датчики механических переменных	81
6.4.	Датчики технологических переменных	87
6.5.	Датчики в системах электропривода	91
7	Технические средства приема, преобразования и передачи измерительной и командной информации по каналам связи	96
7.1.	Общие сведения	96
7.2.	Классификация АЦП	97
7.3.	Основные параметры АЦП	99
7.4.	Сравнительные характеристики АЦП	100
7.5.	Цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП)	104
7.5.1.	Общие сведения	104
7.5.2.	Основные параметры ЦАП	105
8	Устройства связи ПК с объектом управления в АСУ ТП	111
8.1.	Общие сведения	111
8.2.	Интерфейсы систем автоматизации и управления	111
8.2.1.	Интерфейсы. Основные понятия и определения	111

8.2.2. Классификация интерфейсов	114
8.2.3. Структурная организация интерфейсов	118
8.2.4. Последовательные интерфейсы: RS-232C	120
8.2.5. Параллельный интерфейс	124
8.3. Структуры каналов УСО	127
8.3.1. Конструктивы крейтов УСО	127
8.3.2. Функциональные модули крейтов УСО	131
9 Технические средства обработки, хранения информации и выработки управляющих воздействий	136
9.1. Программируемые контроллеры	136
9.2. Промышленные компьютеры	140
9.3. Выбор средств автоматизации	142
10 Промышленные информационные сети в системах автоматизации и управления техническими объектами и технологическими процессами.	147
10.1. Информационные сети	147
10.1.1. Структура сетей	147
10.1.2. Сетевые средства	150
10.2. Управляющие и сетевые средства электроприводов	153
11 Программное обеспечение систем автоматизации и управления	160
11.1. Программирование промышленных компьютеров, контроллеров, терминалов и интеллектуальных модулей	160
11.2. Программирование контроллеров для реализации алгоритмов управления оборудованием	164
11.3. Программирование контроллеров для решения задач повышения надежности систем управления	166
12 Технические средства для отображения процессов в системах автоматизации и управления	171
.....	171
12.1. Общие сведения	
12.2. Пульты, терминалы и станции оператора	173
Библиографический список	175
Предметный указатель	177

Михаил Петрович Белов

Технические средства автоматизации и управления

Учебное пособие

Редактор Иванова И. А.

Сводный темплан 2006 г.

Лицензия ЛР № 020308 от 14.02.97

Санитарно-эпидемиологическое заключение №78.01.07.953.П.005641.11.03
от 21.11.2003

Подписано в печать

Формат 60 x 84 1/16

Б.кн.-журн.

П.л. 11,125

Б.л. 2,656

Издательство СЗТУ.

Тираж 400

Заказ

Северо-Западный государственный заочный технический
университет

Издательство СЗТУ, член Издательско-полиграфической ассоциации
университетов России