

ТИПОВОЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ПРОМЫШЛЕННЫХ УСТАНОВОК



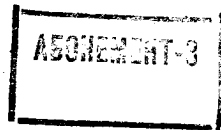
1038 - 145

С. А. Воложковский,
В. И. Емец,
В. К. Козло,
В. Д. Фурсов,
М. М. Белый

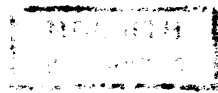
ТИПОВОЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ПРОМЫШЛЕННЫХ УСТАНОВОК

Под общей редакцией
заслуженного деятеля науки
и техники УССР, профессора, доктора
технических наук *С. А. Воложковского*

Допущено Министерством высшего
и среднего специального образования
Украинской ССР в качестве учебника
для студентов вузов, обучающихся
по специальности «Электроснабжение
промышленных предприятий, городов
и сельского хозяйства»



КИЕВ
ГОЛОВНЕ ВИДАТЕЛЬСТВО
ВИДАТЕЛЬСЬКОГО ОБ'ЄДИНЕННЯ
«ВИЩА ШКОЛА»
1983



УДК 625+621.3.07(075.8)

Типовой электропривод промышленных установок.— С. А. Волотковский, В. И. Емец, В. К. Козло и др. / Под общ. ред. С. А. Волотковского.— Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1983.— 312 с.

В учебнике освещены вопросы типового электропривода промышленных установок; рассмотрены особенности и основные элементы электропривода кранов, лифтов, экскаваторов, шахтных подъемных машин, конвейеров, металлообрабатывающих станков и установок, прокатных станов, насосов, вентиляторов и компрессоров; большое внимание уделено применению полупроводниковой техники в электроприводе как основному пути технического прогресса.

Нормативные материалы приведены по состоянию на 1 января 1981 г.

Для студентов, обучающихся по специальности «Электроснабжение промышленных предприятий, городов и сельского хозяйства». Может быть использован студентами других энергетических и электромеханических специальностей.

Табл. 11. Ил. 219. Библиогр.: 49 назв.

Рецензенты: проф. д-р техн. наук *Н. Г. Попович* (Киевский политехн. ин-т), кафедра электрификации промышленных предприятий Харьковского политехн. ин-та (зав. кафедрой доц. *В. Б. Клепиков*)

Редакция литературы по кибернетике, электронике и энергетике

Зав. редакцией *М. С. Хойнацкий*



2302030000—142
1 М211(04)—83 160—82

© Издательское объединение
«Вища школа», 1983.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Основными направлениями экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года намечено обеспечить ускоренное развитие силовой полупроводниковой техники, комплектных электроприводов с тиристорными преобразователями и комплектного электрооборудования к прокатным станам, мощным экскаваторам, роторным комплексам и буровым установкам, а также средств автоматизации управления машинами и оборудованием. Как указано в материалах XXVI съезда КПСС, особое внимание должно быть уделено разработке и освоению выпуска электротехнического оборудования, имеющего более высокий к. п. д., меньший удельный расход цветных металлов и других материалов. Эта обширная программа освоения и развития новейших технических достижений в области электропривода показывает, какое большое внимание уделяют партия и государство развитию электрификации народного хозяйства и широкому внедрению прогрессивных видов современного автоматизированного электропривода в технику производства.

Настоящая книга является учебником для студентов, обучающихся по специальности «Электроснабжение промышленных предприятий, городов и сельского хозяйства» со специализацией электроснабжения промышленных предприятий.

В задачу курса «Типовой электропривод промышленных установок» входит изучение особенностей электропривода, применяемого на промышленных предприятиях. Рост уровня электрификации силовых процессов сопровождался широким внедрением электропривода, что позволило наиболее эффективно решать задачи интенсификации, механизации и автоматизации производства. Появление современных высокопроизводительных установок, требующих от механизмов многообразных и сложных режимов работы, сопровождалось глубокими качественными сдвигами в структуре электропривода. Существенными его элементами стали аппаратура управления, различные преобразовательные устройства, технические средства автоматики и вычислительной техники.

В отношении выбора типовых электроприводов уже наметилась определенная традиция включать в их число электроприводы, кранов, лифтов, конвейеров, насосов, вентиляторов, компрессоров и металлообрабатывающих станков. Наряду с этим в книге большое внимание уделяется рассмотрению электроприводов приме-

нительно к таким широко распространенным отраслям промышленности, как металлургическая и горнодобывающая (прокатные станы, экскаваторы, шахтные подъемные машины).

Учебник построен по единому плану. В первом параграфе каждой главы приведены общие сведения о механическом оборудовании и работе машины или установки; в последующих параграфах изложены требования, предъявляемые к электроприводу, освещены вопросы выбора его системы, описаны схемы электропривода; в заключении отмечены особенности электроснабжения данного механизма или установки. Следует подчеркнуть, что первые две главы книги посвящены рассмотрению общих вопросов промышленных электроприводов, касающихся электрических машин, преобразователей, аппаратуры управления и защиты, а также инженерных методов расчета электроприводов. Учитывая то обстоятельство, что учебным планом специальности спецкурс электрической аппаратуры не предусматривается, авторы несколько расширили объем сведений по аппаратам управления.

Учебник написан коллективом преподавателей Днепропетровского ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Артема под руководством засл. деятеля науки и техники УССР проф. д-ра техн. наук С. А. Волотковского. При написании книги авторы распределили ее материал между собой следующим образом: проф. С. А. Волотковский — предисловие, гл. 4, 6 и гл. 3, 5, 9 совместно с доц. В. И. Емцем, доц. В. И. Емец — гл. 8, доц. А. Д. Фурсов — гл. 1, доц. В. К. Козло — гл. 7, доц. М. М. Белый — гл. 2.

Авторы выражают признательность рецензентам заведующему кафедрой электропривода Киевского политехнического института проф. д-ру техн. наук Н. Г. Поповичу и коллективу кафедры электрификации промышленных предприятий Харьковского политехнического института, возглавляемой доц. канд. техн. наук В. Б. Клепиковым, за замечания и советы, сделанные при рецензировании рукописи учебника, а также сотрудникам кафедры электрификации горных работ и промышленных предприятий Днепропетровского горного института им. Артема В. А. Гончар, Г. В. Бородиной, А. С. Лапкиной и А. В. Ковалевой за помощь в подготовке рукописи к изданию.

Отзывы и замечания, касающиеся содержания книги, авторы просят направлять по адресу: 252054, Киев-54, ул. Гоголевская, 7, Головное издательство издательского объединения «Вища школа».

1.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ
И ЕГО ЭЛЕМЕНТАХ

Электрический привод (электропривод) представляет собой электромеханическую систему, предназначенную для приведения в движение исполнительных органов рабочей машины и управления этим движением. В состав электропривода входят электродвигательное, преобразовательное, передаточное и управляющее устройства. В отдельных случаях преобразовательное и (или) передаточное устройства могут отсутствовать.

Характеристики двигателя и возможности системы управления им определяют производительность рабочей машины или механизма, точность выполнения технологических операций и динамические нагрузки механического оборудования. С другой стороны, нагрузки механической части привода, точность передачи и условия движения исполнительных органов оказывают влияние на условия работы двигателя и управление им; поэтому электрические и механические устройства электропривода образуют единую электромеханическую систему, составные части которой находятся в тесном взаимодействии.

Важным достоинством электропривода является простота его автоматизации. Большинство современных промышленных установок оборудуются *автоматизированным электроприводом*, который не только приводит в движение исполнительные органы рабочей машины, но и осуществляет автоматизированное управление процессом в соответствии с заданной программой или в зависимости от изменяющихся условий работы установки.

В настоящее время широкое применение получили следующие виды электропривода:

1. *Асинхронный электропривод*, в котором электродвигательным устройством является асинхронный двигатель с короткозамкнутым либо с фазным ротором.

2. *Синхронный электропривод*, электродвигательным устройством которого служит синхронный двигатель.

3. *Система «генератор — двигатель»* (система Г—Д), преобразовательным устройством которой является электромашинный преобразовательный агрегат.

4. *Тиристорный электропривод*, преобразовательным устройством которого служит тиристорный преобразователь электроэнергии.

5. *Каскадный электропривод*, в котором мощность скольжения с помощью преобразователей возвращается в сеть переменного тока или на вал двигателя.

Выбор той или иной разновидности электропривода определяется в основном технологическими условиями и будет подробно рассмотрен ниже.

1.2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

Важнейшим элементом электропривода является двигатель, параметры которого должны соответствовать характеристикам приводимого механизма во всех режимах работы данной установки. Технологические требования, определяющие режимы работы и характеристики промышленных механизмов (мощность, условия пуска, продолжительность рабочего периода, частоту вращения, пределы ее регулирования и т. п.), весьма разнообразны. По этим причинам в электроприводах промышленных механизмов применяются электродвигатели различной мощности (от нескольких ватт до десятков тысяч киловатт). Широко используются асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым либо с фазным ротором, в меньшей степени — синхронные двигатели, а также двигатели постоянного тока параллельного, последовательного или смешанного возбуждения. В соответствии с Правилами устройства электроустановок (ПУЭ) электродвигатели постоянного тока допускается использовать только в тех случаях, когда электродвигатели переменного тока не обеспечивают требуемых характеристик приводимых механизмов либо неэкономичны. В зависимости от условий окружающей среды электрические машины и аппараты могут иметь *открытое, защищенное* (несколько модификаций), *закрытое* и *взрывозащищенное* исполнения.

С учетом назначения и режима работы промышленных механизмов для их приводов могут быть использованы электродвигатели общего применения или специальных конструкций (крановые, экскаваторные, прокатные и др.).

Электрические машины общего применения. Электродвигатели переменного тока используют главным образом для привода механизмов с продолжительным режимом работы. Наибольшее распространение получили асинхронные электродвигатели единых серий с твердой шкалой мощностей как в основном исполнении, так и в различных модификациях. Асинхронные электродвигатели серий А2, АО2 и АОЛ2 устанавливаются в электроприводах механизмов мощностью до 1000 кВт. Двигатели А2 — защищенные, в чугунной оболочке; АО2 — закрытые, обдуваемые, в чугунной оболочке; АОЛ2 — закрытые, обдуваемые, в алюминиевой оболочке. Электродвигатели этих серий имеют улучшенные технико-экономические характеристики по сравнению с ранее выпускавшимися электродвигателями серий А, АО и АОЛ.

В обозначении типа электродвигателя единой серии указываются: буквами А и АО (АОЛ) — вид основного исполнения, циф-

рами — номер серии, размеры двигателя (номера габарита и длины сердечника), число полюсов. Например, двигатель типа АО2-42-2 — асинхронный, обдуваемый, серии АО2, четвертого габарита, со второй длиной сердечника, двухполюсный.

Кроме основных исполнений, двигатели единых серий А2 и АО2 имеют 7 электрических модификаций и 6 специализированных исполнений, зависящих от назначения и условий эксплуатации электродвигателя. Модификация отображается соответствующими буквами или цифрами в обозначении типа электродвигателя:

АОП2 — с повышенным пусковым моментом, для привода механизмов с большой нагрузкой в момент пуска (компрессоры, дробилки и т. д.);

АОС2, АОЛС2 — с повышенным скольжением, для привода механизмов с большими маховыми массами, нагрузкой пульсирующего характера и большой частотой пусков;

АОТ2 — с повышенными энергетическими показателями, для привода механизмов с круглосуточной работой (используются в текстильной промышленности);

АК2, АОК2 — с фазным ротором (применяются в случае, когда мощность питающей сети недостаточна для пуска электродвигателей с короткозамкнутым ротором, а также в приводах с плавным регулированием частоты вращения ниже номинальной);

АВ2 — встраиваемое исполнение (для встраивания в станки и механизмы);

А — с алюминиевой обмоткой;

АО2, АОЛ2 — многоскоростные, для привода механизмов со ступенчатым регулированием частоты вращения (станки, лебедки и т. д.). В цифровом обозначении этих двигателей указывается все число полюсов (через косые линии), на которые может включаться обмотка (например, АОЛ-2-31-6/4/2).

Специализированное исполнение отображается после цифрового обозначения типа двигателя буквами: Т — тропическое, Х — химостойкое, В — влагоморозостойкое, Ш — малошумное, С — для станков нормальной (С2) и повышенной (С1) точности; число 60 указывает на то, что рабочая частота 60 Гц. Электродвигатели единых серий выпускаются на напряжение 220/380 и 500 В мощностью до 100 кВт, 380/660 В мощностью до 500 кВт и 6000 В мощностью 200 кВт и выше.

Новая серия 4А трехфазных электродвигателей с короткозамкнутым ротором мощностью 0,12...400 кВт (рис. 1.1) разработана взамен двигателей серии А2 с данным диапазоном мощностей. Двигатели серии 4А удовлетворяют рекомендациям Международной электротехнической комиссии (МЭК) по габаритным и установочно-присоединительным размерам. Эти двигатели обладают большей надежностью и эксплуатационными удобствами по сравнению с двигателями ранее выпускавшихся серий. По основным техническим показателям двигателя серии 4А находятся на уровне мировых стандартов. По степени защиты от воздейст-

вия окружающей среды эти двигатели выпускаются в двух вариантах (ГОСТ 17494—72): *защищенные* (IP23) и *закрытые обдуваемые* (IP44). В основном исполнении двигатели серии 4А предназначены для общего применения в промышленности в условиях умеренного климата (климатическое исполнение категорий У3 и У4).

В обозначении двигателя серии 4А указываются: порядковый номер серии (4); наименование вида (А — асинхронный); конструктивное исполнение (Н — защищенное); материал станины и щитов (А — алюминий, Х — станина из алюминия, щиты из чугуна; отсутствие букв А или Х означает, что станина и щиты из чугуна); высота оси вращения h , мм (см. рис. 1.1); установочные размеры по длине корпуса (S — короткая длина, М — средняя, L — большая); число полюсов (2, 4, 6, 8, 10, 12); климатическое исполнение (У); категория размещения (3 или 4).

Например, 4АН250М2У3 — электродвигатель серии 4, асинхронный, защищенного исполнения, станина и щиты из чугуна, с высотой оси вращения $h=250$ мм, установочным размером по

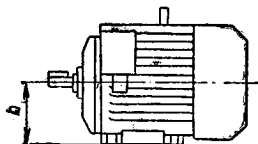


Рис. 1.1. Электродвигатель серии 4А

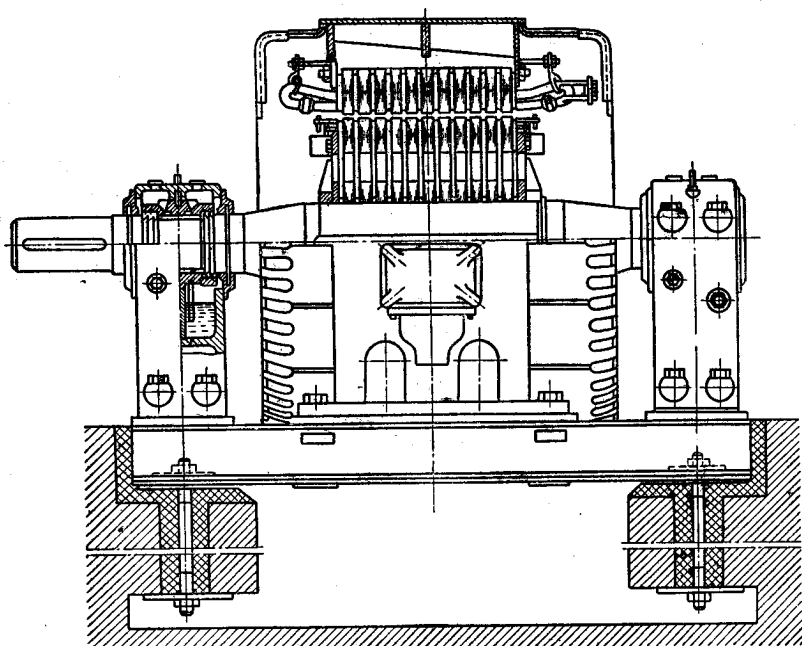


Рис. 1.2. Электродвигатель серии 4А

длине корпуса М (средняя длина), двухполюсный, для районов умеренного пояса, третьей категории размещения (в закрытых помещениях с естественной вентиляцией).

Двигатели серии 4А в зависимости от мощности изготавливаются на напряжение 220/380 и 380/660 В.

Асинхронные электродвигатели серий АН (с короткозамкнутым ротором) и АКН (с фазным ротором) применяются в электроприводах мощностью 1000...2000 кВт. Эти двигатели (рис. 1.2) выпускаются на напряжение 6 кВ в открытом (защищенном) исполнении.

Асинхронные электродвигатели серии АТД используются в электроприводе мощных (до 8 МВт) быстроходных механизмов с частотой вращения (синхронной) 3000 об/мин. Двигатели этой серии изготавливаются на напряжение 6 кВ в нормальном и взрывозащищенном исполнениях.

Синхронные электродвигатели серий СТД и СТМ мощностью 0,8...12,5 МВт, как и двигатели серии АТД, устанавливаются в электроприводах быстроходных механизмов. Эти двигатели выполняются в закрытом исполнении на напряжение 6 и 10 кВ.

Синхронные электродвигатели серий СД и СДЗ мощностью 75...1000 кВт используются в электроприводах среднескоростных механизмов (750...1500 об/мин) длительного режима работы, не требующих регулирования частоты вращения (насосы, вентиляторы, компрессоры и т. п.). Двигатели СД (защищенные с самовентиляцией) и СДЗ (закрытые с принудительной вентиляцией) выпускаются на напряжение 380 В (мощностью до 320 кВт включительно) и 6 кВ (мощностью 200 кВт и выше).

Синхронные электродвигатели серий СДН и СДНЗ (З — закрытые) применяются в электроприводах мощных компрессоров, насосов и других тихоходных механизмов с длительным режимом работы. Двигатели серии СДН (рис. 1.3) выпускаются на напряжение 6 кВ, а мощностью 1250 кВт и выше — и на напряжение 10 кВ.

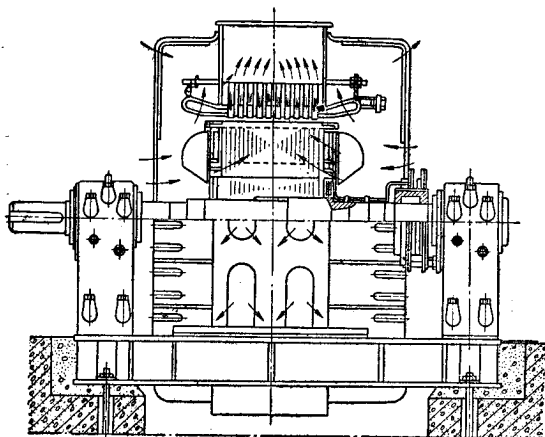
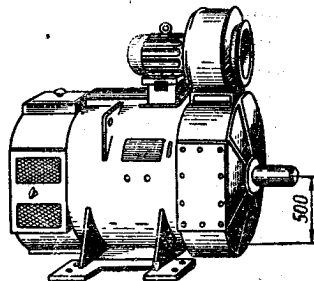


Рис. 1.3. Синхронный электродвигатель серии СДН открытого исполнения

Рис. 1.4. Электродвигатель постоянного тока типа П132-6К



В обозначении типа синхронных двигателей серий СД, СДВ, СДН и СДНЗ цифрами указываются габариты: двумя первыми — условный диаметр, затем (после дефиса) — активная длина сердечника статора в сантиметрах и последующими цифрами — число полюсов. Например, СДН-20-49-60 — синхронный электродвигатель серии СДН (нормального исполнения), двадцатого габарита, с активной длиной сердечника статора 49 см и частотой вращения 100 об/мин (60 полюсов).

Синхронные двигатели, рассчитанные для работы в режиме отдачи реактивной энергии в сеть с коэффициентом мощности 0,8 и 0,6, используются как компенсаторы реактивной энергии. Преимуществом таких двигателей является также сравнительно высокая их перегрузочная способность. Однако они менее надежны в работе и требуют более сложных систем пуска по сравнению с асинхронными двигателями. Поэтому в электроприводах ответственных механизмов, требующих самозапуска после кратковременного отключения питания и последующего восстановления его под действием автоматического включения резерва, например в приводах насосов, вентиляторов и дымососов системы собственных нужд тепловых электростанций, устанавливаются асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором. При использовании синхронных, а также мощных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором необходима проверка возможности их прямого пуска по условиям допустимого снижения напряжения. Если при прямом пуске остаточное напряжение менее 70% номинального (при редких пусках и раздельном питании силовой и осветительной нагрузок), то принимаются специальные меры, ограничивающие пусковые токи, например пуск через реактор. Для особо мощных электродвигателей перспективным является способ пуска с плавным увеличением частоты и амплитуды напряжения посредством специального тиристорного преобразователя частоты соответствующей мощности.

Электродвигатели и генераторы постоянного тока выпускаются в значительно меньшем количестве, чем машины переменного тока. Основной серией их является единая серия П, которая включает в себя машины всего необходимого народному хозяйству диапазона мощностей и частот вращения.

Генераторы имеют параллельное или смешанное самовозбуждение. Они применяются для питания электродвигателей постоянного тока в системе Г—Д, возбуждения мощных машин постоянного тока и зарядки аккумуляторных батарей. Внешняя характеристика у них жесткая. Использование машинных генераторов постоянного тока постепенно сужается, так как они вытесняются более экономическими полупроводниковыми преобразователями.

Электродвигатели общепромышленного назначения (рис. 1.4). Имеют защищенное исполнение, параллельное возбуждение и легкую стабилизирующую обмотку, допуская регулирование частоты вращения ослаблением поля главных полюсов в диапазоне 2:1. Механическая характеристика у них жесткая.

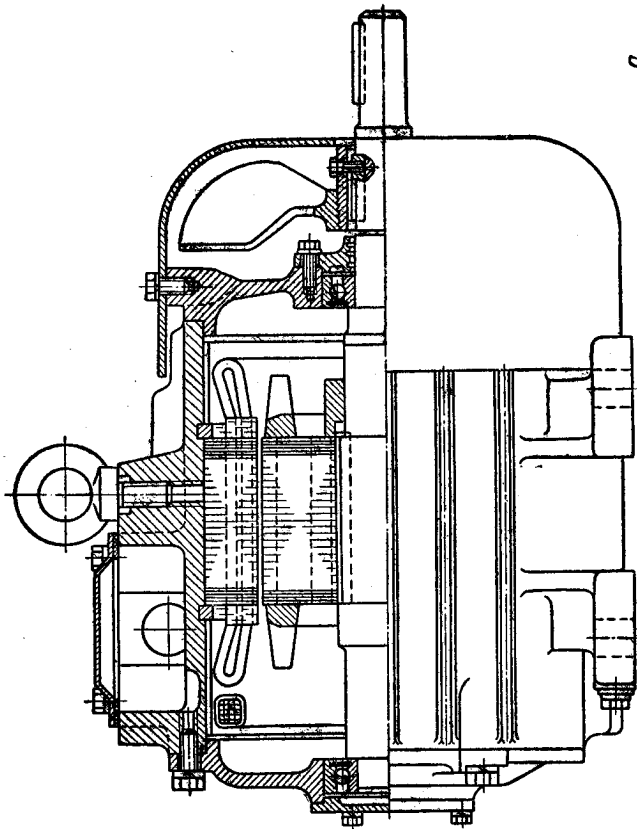
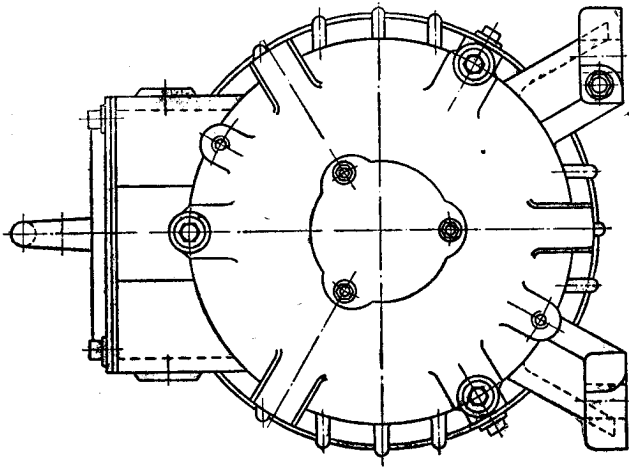
Электродвигатели специальных конструкций. Крановые электродвигатели предназначены для привода грузоподъемных механизмов. Они работают обычно со значительными перегрузками по отношению к номинальному моменту, в условиях повышенной влажности, запыленности, вибраций и ударов, допускают широкий диапазон регулирования частоты вращения, частые пуски и торможения. Поэтому по своей конструкции, режимам работы и электромеханическим характеристикам эти двигатели существенно отличаются от двигателей общепромышленного применения.

Номинальная работа кранового электродвигателя должна соответствовать одному из следующих режимов: а) продолжительному (S1); б) кратковременному (S2) с длительностью работы при неизменной номинальной нагрузке в течение 10, 30, 60 и 90 мин; в) повторно-кратковременному (S3) с продолжительностью включения $PВ=15, 25, 40$ и 60% при продолжительности цикла 10 мин.

Номинальным режимом работы крановых двигателей переменного тока считается режим с $PВ=40\%$, а двигателей постоянного тока — часовой режим. Основное исполнение крановых двигателей — закрытое. Применяемые изоляционные материалы отличаются повышенной нагревостойкостью (классы *F* и *H*). Для снижения расхода энергии в течение переходных процессов ротор кранового двигателя выполняется с минимальным моментом инерции, частота вращения ротора относительно небольшая. Средние значения номинальной частоты вращения крановых двигателей постоянного тока составляют 700 об/мин (тихоходные двигатели) и 1200 об/мин (быстроходные двигатели), кратность максимального момента по отношению к номинальному находится в пределах 2,15...4.

Крановые двигатели переменного тока выполняются с числом полюсов не менее четырех, кратностью максимального момента по отношению к номинальному в пределах 2,3...2,8. Для обеспечения большой перегрузочной способности по моменту магнитный поток в крановом двигателе относительно велик, а конструкция его основных узлов должна удовлетворять повышенным требованиям по механической прочности и долговечности. Вследствие этого удельные масса и стоимость крановых двигателей намного выше, чем двигателей общего назначения.

Отечественная промышленность выпускает [18] крановые электродвигатели постоянного тока серии Д (взамен серии ДП), асинхронные с фазным ротором — серий МТФ, МТН (взамен серий МТВ, МТМ) и асинхронные с короткозамкнутым ротором серий МТКФ, МТКН (взамен серий МКТВ, МКТМ). Подготовлена к выпуску новая серия 4МТ крановых и металлургических двигателей мощностью до 200 кВт с короткозамкнутым и фазным роторами. Электродвигатели серии 4МТ унифицированы с рассмотренными выше двигателями серии 4А по установочно-присоединительным размерам (эти размеры указываются в обозначении типа двигателя, как у двигателей серии 4А), имеют высококу



0

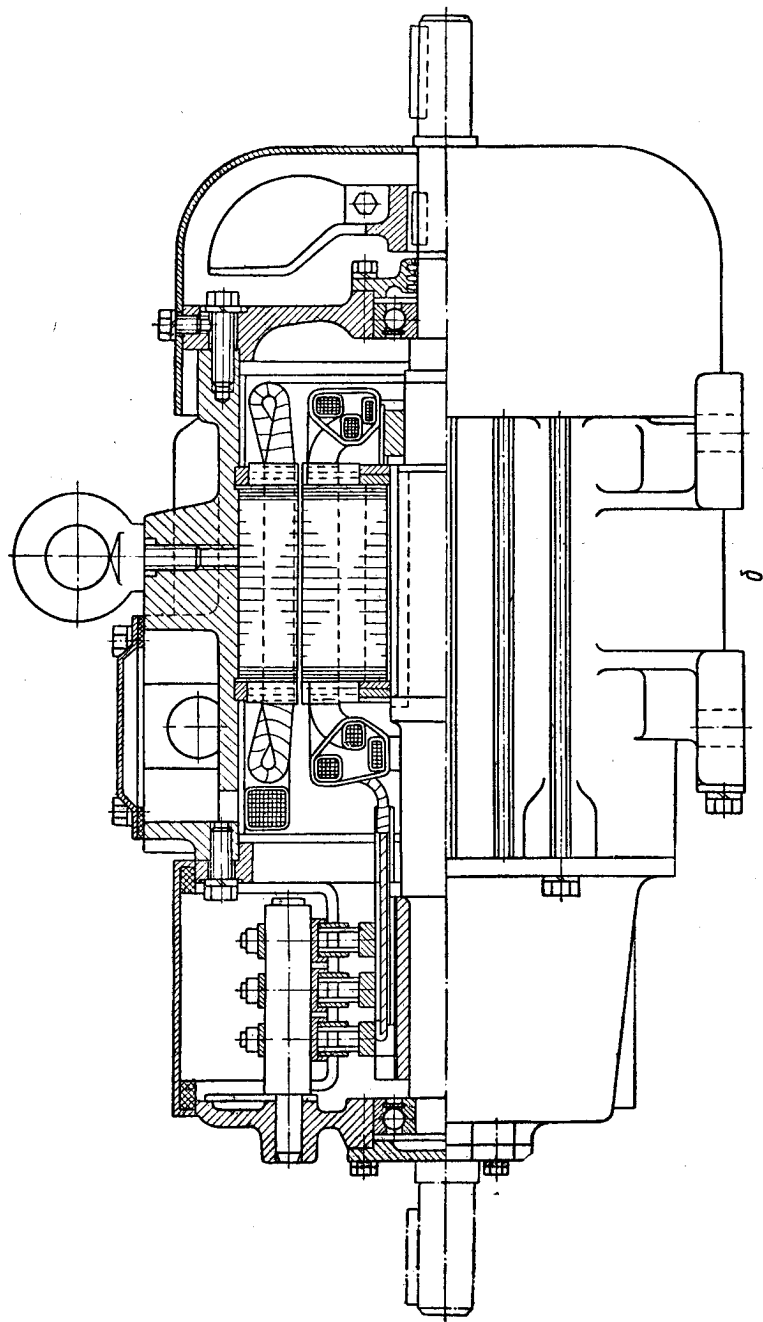


рис. 1.5. Крановые электродвигатели переменного тока серий МТКФ (а) и МТФ (б)

надежность и увеличенный срок службы (до 20 лет), а также улучшенные энергетические и конструктивные показатели за счет применения новых материалов: холоднокатаной электротехнической стали, изоляционных материалов на основе синтетических пленок и финилоновой бумаги, эмалированных проводов повышенной стойкости и др. Электродвигатели серии 4МТ соответствуют требованиям МЭК и находятся на уровне мировых стандартов.

Наиболее широко применяются в крановых электроприводах двигатели переменного тока, относительное количество которых составляет около 90%. Это объясняется тем, что масса асинхронного кранового двигателя с наружной самовентиляцией в 2,2...3 раза, а масса меди в 5 раз меньше, чем крановых двигателей постоянного тока при одинаковых номинальных моментах. Удельная стоимость асинхронных двигателей также существенно ниже.

В связи с указанными факторами в грузоподъемных механизмах сравнительно небольшой мощности (до 45 кВт), не требующих плавного регулирования скорости, чаще всего устанавливаются одно- и двухскоростные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором серий МТКФ и МТКН (рис. 1.5, а). Следует иметь в виду, что удельная масса двухскоростного двигателя на 40% выше односкоростного при одинаковом значении вращающего момента.

Наряду с крановыми электродвигателями названных серий для использования в электрических талях и кран-балках выпускается большое количество двигателей малой мощности, имеющих специальное конструктивное исполнение на базе рассмотренных выше двигателей серий А2 и 4А. Область применения асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором в крановом электроприводе расширилась в связи с развитием систем с тиристорными преобразователями частоты, обеспечивающих большой диапазон регулирования частоты вращения двигателей (особенно двухскоростных) при малой удельной массе двигателя.

Асинхронные крановые электродвигатели с фазным ротором серий МТФ и МТН имеют массу в среднем на 8% и стоимость на 30% больше, чем двигатели с короткозамкнутым ротором такой же мощности. Однако асинхронные электродвигатели с фазным ротором позволяют проще осуществлять регулирование их частоты вращения, ускорения и замедления, в частности путем введения резисторов в цепь ротора. При питании статора асинхронного двигателя с фазным ротором от тиристорного регулятора напряжения достигается регулирование частоты вращения в диапазоне 10:1. Такая система регулирования занимает промежуточное положение между системой непосредственного управления путем изменения сопротивления в цепи ротора с использованием магнитного контроллера и системами с более сложными преобразователями энергии. Конструкция кранового электродвигателя серии МТФ с фазным ротором показана на рис. 1.5, б.

Крановые двигатели постоянного тока устанавливаются в электроприводах большой мощности с частыми

включениями (до 2000 в час), преимущественно тогда, когда требуется широкий диапазон плавного регулирования частоты вращения двигателя.

Крановые двигатели постоянного тока серии Д (рис. 1.6) выпускаются в 20 исполнениях последовательного, параллельного и смешанного возбуждения на номинальное напряжение 220 В (все исполнения) и 440 В (с ограничениями по исполнениям). Основные исполнения — закрытое с естественным охлаждением и защищенное с принудительной вентиляцией. Номинальным режимом работы двигателей закрытого исполнения считается часовой, а защищенного исполнения — продолжительный (ПВ = 100%). Относительные значения мощностей электродвигателей серии Д в часовом режиме работы при различных ПВ показаны на рис. 1.7.

Прокатные двигатели. В прокатном производстве применяются синхронные и асинхронные двигатели, а для привода рабочих валков прокатных станков используются электродвигатели постоянного тока серий МП и Д (металлургические). Мощность единичного прокатного двигателя серии МП достигает 9000 кВт (номинальная мощность двухъякорного двигателя 2МП1600-45 равна 16 000 кВт).

Мощные двигатели прокатных станков, как правило, управляются по системе Г—Д. Агрегаты, преобразующие электрическую энергию в такой системе, включают в себя генераторы постоянного тока с приводными синхронными двигателями соответствующей мощности (до 20 МВт). Для управления прокатными двигателями малой и средней мощностей в последние годы разработана, но пока не получила широкого распространения, система регулирования с полупроводниковыми (тиристорными) преобразователями электроэнергетики. Последние используются также в качестве возбuditелей генераторов и двигателей большой и средней мощностей.

Прокатные (металлургические) электродвигатели предназначены для работы в условиях повышенной влажности, запыленности и вибраций. Они отличаются повышенной прочностью крепления обмоток и железа якоря, усиленной конструкцией подшипников. Для улучшения динамических характеристик прокатные двигатели, как и крановые, имеют уменьшенный момент инерции. С этой целью разработаны двухъякорные прокатные двигатели (с двумя якорными обмотками и коллекторами).

Для обдува электрических машин большой мощности применяются замкнутая и проточная системы вентиляции с внешним вентилятором (рис. 1.8). Первая (рис. 1.8, а, в) обеспечивает лучшее охлаждение и большую чистоту машины. Для обдува ответственных машин, например прокатных двигателей алюминия, устанавливают два вентилятора: рабочий и резервный. В машинах постоянного тока холодный воздух подается со стороны, противоположной коллектору (рис. 1.8, а, б), чтобы исключить попадание щеточной пыли в машину. В машинах переменного тока воз-

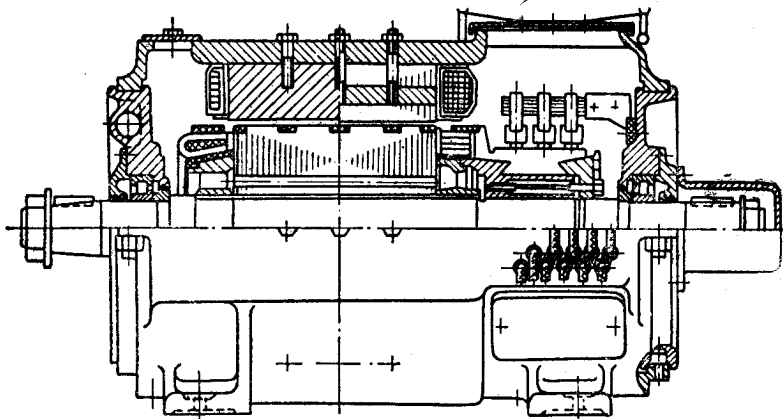


Рис. 1.6. Крановый электродвигатель постоянного тока серии Д с разъемной станиной

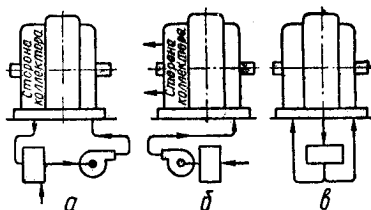


Рис. 1.8. Системы вентиляции мощных электрических машин

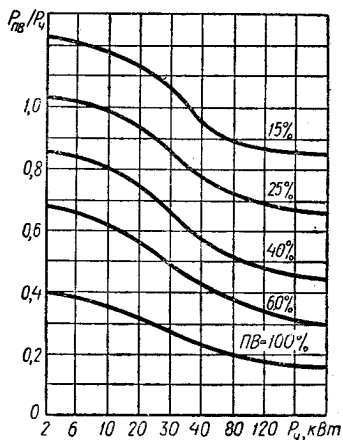


Рис. 1.7. Относительные значения мощностей электродвигателей серии Д при различных ПВ

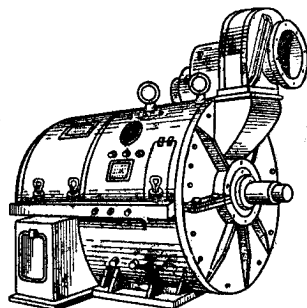


Рис. 1.9. Экскаваторный электродвигатель серии МПЭ мощностью 540 кВт

дух подводится с двух сторон (рис. 1.8, в) и выбрасывается наружу через среднюю часть кожуха.

Экскаваторные электродвигатели близки по характеру нагрузки и условиям эксплуатации к крановым двигателям. Поэтому на экскаваторах устанавливаются модификации двигателей постоянного и переменного тока, аналогичные краново-металлургическим (серии Д, МТ, МП), которые в экскаваторном исполнении имеют обозначения МПЭ, ДПЭ и др.

Двигатели серии МПЭ (рис. 1.9) изготавливаются с независимой вентиляцией и имеют конструкцию повышенной прочности. Вентилятор с приводным асинхронным двигателем размещается в верхней части машины.

Двигатели специальных конструкций применяются также в электроприводах других механизмов со специфическими условиями работы или иногда входят в состав исполнительного механизма (встроенные двигатели). Так, в электроприводах постоянного тока металлообрабатывающих станков наряду с рассмотренными электродвигателями общепромышленного применения используются:

а) высокомоментные двигатели серии ПБВ мощностью 0,18...18,5 кВт на напряжение 60...110 В с возбуждением от постоянных магнитов;

б) двигатели серий ПС (станочные), ПСТ (Т — со встроенным тахогенератором) и серии ПБСТ (Б — бронированные) мощностью 0,12...11,3 кВт с широким диапазоном регулирования частоты вращения (2000:1);

в) двигатели с гладким якорем серии ПГТ (Г — гладкий якорь) мощностью 0,25...12 кВт на напряжение 36...440 В, имеющие малый момент инерции, пониженную индуктивность якоря и допускающие широкий диапазон регулирования частоты вращения (0...4000 об/мин).

Синхронные электродвигатели специальных серий применяются следующие:

ВСД-325 — вертикальные для привода водяных насосов; СДРЗ — горизонтальные закрытые, предназначенные для резиновой промышленности; ДСМ и ДСМП — горизонтальные защищенные с самовентилиацией (ДСМ) и закрытые продуваемые (ДСМП), тихоходные ($n = 167...250$ об/мин), предназначенные для привода шаровых и стержневых мельниц.

Асинхронными электродвигателями специальных конструкций являются:

а) двигатели серии МАПЗ, работающие только погруженными в воду при температуре не более $+20^{\circ}\text{C}$ и предназначенные для привода насосов артезианских скважин;

б) двигатели серии ПЭД, устанавливаемые в электроприводах глубинных насосов нефтяной промышленности;

в) двигатели серии АР мощностью 0,3...10 кВт, закрытые, используемые в индивидуальном электроприводе роликовых конвейеров;

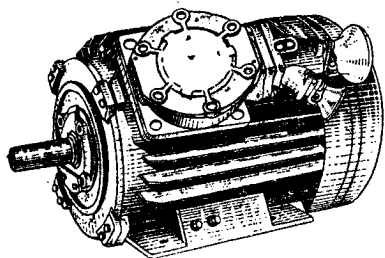


Рис. 1.10. Взрывозащищенный электродвигатель серии ВР

г) двигатели серий АС, АСМ и АСШ, защищенные, одно- и двухскоростные, применяемые в электроприводе лифтов;

д) двигатели серии АТМК — закрытые фланцевые, предназначенные для привода центробежных компрессоров, устанавливаемых в трубе высокого давления;

е) взрывозащищенные двигатели (серий В, ВР, ВАО и др.), используемые в типовом электроприводе,

работающем в условиях взрывоопасных производств угольной, нефтяной, нефтеперерабатывающей, химической, газовой и других отраслей промышленности. Взрывозащиту двигателя обеспечивает его взрывонепроницаемая оболочка. В обозначении двигателя серий ВАО, В и ВР указываются установочно-присоединительные размеры и число полюсов, как и для рассмотренных выше двигателей серии 4А.

Двигатели серий В и ВР (рудничные) мощностью 0,25... 110 кВт изготавливаются на напряжение 380/660 В. На базе основных исполнений их, разработанных для условий умеренного тропического и холодного климата, созданы модификации специального назначения: ВКр — крановые со встроенным тормозом; ВС — с повышенным скольжением, ВМН — моноблочные; ВМ — морские; ВРМ — для привода вентиляторов; ВРЛ — для привода маневровых лебедок; ВРТ — для привода скребковых конвейеров; ВРП — для привода породопогрузочных машин; ВРК — с фазным ротором. Двигатели серий В и ВР (рис. 1.10) отличаются высоким технико-экономическим уровнем, достигнутым за счет применения высококачественных сталей, терморезистивной, влагостойкой изоляции обмотки статора и эффективной системы охлаждения.

Двигатели серии ВАО (обдуваемые) мощностью 132... 200 кВт изготавливаются на напряжении 380/660 кВ, а мощностью 200...2000 кВт — на напряжении 6 кВ. Взрывозащищенность их достигается благодаря уплотнениям вводов, высокой механической прочности и специальному соединению частей оболочки, в результате чего происходит локализация пламени внутреннего взрыва в случае его возникновения.

1.3. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

В электроприводе используются электромашинные и вентильные преобразовательные устройства (преобразователи).

Электромашинные преобразователи — агрегаты, состоящие из генераторов постоянного тока, приводимых во вращение асинхронными или синхронными двигателями, применяются в системах «генератор—двигатель» (Г—Д). По мере развития силовой

полупроводниковой техники эти преобразователи вытесняются более совершенными статическими преобразователями.

Ионные преобразователи на основе ртутных вентилей применялись в системах электропривода «управляемый выпрямитель — двигатель» (УВ—Д), а также на выпрямительных подстанциях, питающих постоянным током цеховые сети и контактные сети промышленного транспорта. Низкий к. п. д. при напряжении до 1000 В, сложность обслуживания и опасность контакта обслуживающего персонала с вредными парами ртути при повреждении ртутных вентилей явились причинами, из-за которых последние во многих областях техники вытеснены более совершенными полупроводниковыми приборами.

Полупроводниковые преобразователи на основе силовых кремневых диодов и управляемых вентилей (тиристоров) создали качественно новое направление развития современного вентиляльного электропривода, в котором применяются следующие преобразователи электроэнергии:

- а) выпрямители (управляемые и неуправляемые), преобразующие переменный однофазный или трехфазный ток в постоянный;
- б) инверторы, преобразующие постоянный ток в переменный с регулируемой или нерегулируемой частотой;
- в) преобразователи частоты, имеющие на входе и выходе различные частоты тока (частота на выходе может быть регулируемой);
- г) импульсные преобразователи, преобразующие постоянное напряжение в импульсное определенной формы, частоты и скважности.

На основе тиристоров и триаков (симметричных тиристоров) созданы также бесконтактные защитно-коммутационные устройства: пускатели, выключатели и станции управления, которые позволяют осуществить бесконтактное включение, отключение, а при реверсивном исполнении — изменение направления вращения асинхронного двигателя. Они обладают высоким быстродействием и обеспечивают ограничение ударных моментов при пуске, реверсе и торможении.

Наибольшее распространение получили *тиристорные преобразователи* постоянного тока, производство которых широко освоено для электроприводов малой (до 10 кВт) и средней (10... 2000 кВт) мощностей. Имеются разработки тиристорных преобразователей большой мощности (до 12 000 кВт). Современные тиристорные преобразователи позволяют создать системы электропривода постоянного тока с диапазоном регулирования скорости 30:1 (в специальных схемах — 1000:1); системы электропривода переменного тока, содержащие асинхронные двигатели с фазным ротором мощностью до 5 МВт, собираемые по схеме асинхронного вентиляльного каскада (АВК) со звеном постоянного тока и обеспечивающие диапазон регулирования скорости от 1,5:1 до 10:1; системы электропривода переменного тока, включающие в себя асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором и

преобразователи частоты (системы ПЧ—Д) мощностью до $500 \text{ кВ} \cdot \text{А}$ с плавным регулированием скорости в пределах $4...140\%$ номинальной.

К. п. д. тиристорного электропривода постоянного тока на $5...7\%$ выше по сравнению с системой Г—Д и на $2...4\%$ больше, чем ионного электропривода. В электроприводах с тиристорными преобразователями легко обеспечивается высокая стабильность скорости, которая может быть доведена до $0,2\%$. Тиристорные преобразователи потребляют очень малую мощность для управления (доли ватта), чем обеспечивается высокий коэффициент их усиления по мощности (более $100\,000$).

Наряду с отмеченными преимуществами вентильно-полупроводниковым преобразователям и коммутационным аппаратам, применяемым в электроприводах, свойственны недостатки. Большая чувствительность полупроводниковых приборов к перегрузке вызывает необходимость при проектировании установки выбирать их с запасом по току, что соответствующим образом повышает ее стоимость. Вследствие пульсации тока на выходе вентильного преобразователя увеличиваются потери и уменьшается коммутационная способность питаемого двигателя, при снижении выходного напряжения уменьшается коэффициент мощности установки. Выполняя свое основное назначение, вентильные преобразователи загружают питающую сеть значительной реактивной мощностью с высшими гармониками тока, что приводит к увеличению потерь и отрицательно сказывается на работе остальных потребителей сети. Указанные недостатки должны учитываться при проектировании преобразовательных устройств, особенно для электроприводов большой мощности.

Силовые схемы тиристорных преобразователей делятся на *нулевые* и *мостовые*, а по числу фаз источника питания — на *одно-* и *трехфазные*.

По однофазным схемам собирают преобразователи малой мощности (несколько киловатт), когда несимметрия нагрузок фаз большой роли не играет. Пример схемы однофазного неуправляе-

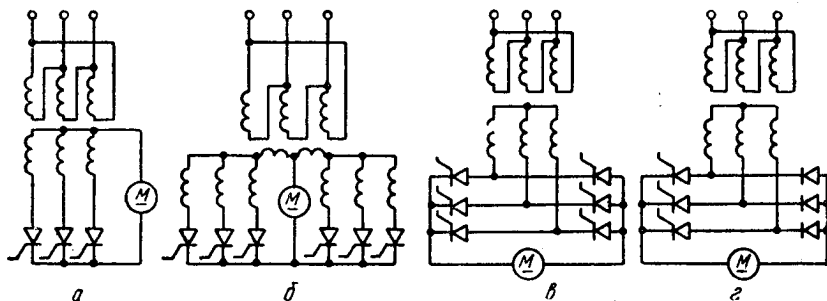


Рис. 1.11. Силовые схемы трехфазных тиристорных преобразователей: а — нулевая; б — двойная нулевая с уравнивающим реактором; в — мостовая; г — несимметричная мостовая

мого мостового выпрямителя для питания кранового электромагнита изображен на рис. 1.57.

Напряжение, выпрямленное однофазным мостовым выпрямителем, пульсирует с двойной частотой и содержит высшие гармоники (вторую, четвертую, шестую и т. д.) с номерами, кратными двум. Коэффициент пульсаций k_n — отношение действующего значения гармонических составляющих выпрямленного напряжения к его среднему значению U_d — в данной схеме значительный ($k_n=0,483$). Если в цепь нагрузки включить большую индуктивность, то выпрямленное напряжение сгладится. Однако сглаживающие фильтры ухудшают к. п. д. преобразователя и его массо-габаритные показатели.

Трехфазная нулевая схема преобразователя (рис. 1.11, а) используется в электроприводах малой мощности (до 10 кВт) с напряжением питания 115...230 В. В этой схеме нагрузка фаз симметрична, но типовая мощность трансформатора $S_{тр}$ значительно превышает номинальную мощность выпрямителя $P_{дном}$:

$$S_{тр} = 1,345P_{дном}. \quad (1.1)$$

В выпрямленном напряжении присутствуют гармоники с номерами, кратными трем (третья, шестая, девятая и т. д.); наибольшую амплитуду имеет третья гармоника. Коэффициент пульсаций в данной схеме несколько меньше, чем в однофазной мостовой ($k_n=0,18$).

Напряжение, выпрямленное трехфазной двойной нулевой схемой преобразователя с уравнительным реактором (рис. 1.11, б), содержит высшие гармоники с номерами, кратными шести; амплитуда их меньше и они легче поддаются фильтрации ($k_n=0,042$). Трансформатор здесь также используется лучше:

$$S_{тр} = 1,26P_{дном}. \quad (1.2)$$

Преимуществом данной схемы является то, что через работающий тиристор протекает только половина тока нагрузки. Благодаря этому к. п. д. преобразователя выше, чем трехфазного мостового. Это преимущество особенно проявилось при использовании ртутных вентилях, на которых падала значительная часть напряжения (18...20 В) при протекании тока нагрузки. В тиристорах же прямое падение напряжения не превышает 1...2 В, что не так существенно. Поэтому схему тиристорного преобразователя с уравнительным реактором применяют только на действующих объектах при замене ртутных вентилях тиристорами с сохранением в ней используемого преобразовательного трансформатора.

Трехфазная мостовая схема преобразователя (рис. 1.11, в), как и предыдущая, по числу пульсаций является шестифазной ($k_n=0,042$), но позволяет более полно использовать мощность преобразовательного трансформатора:

$$S_{тр} = 1,05P_{дном}. \quad (1.3)$$

В данной схеме достигается оптимальное соотношение между значениями напряжения на нагрузке и обратного напряжения на

тиристорах, благодаря чему она широко используется в тиристорных преобразователях.

В целях упрощения преобразователя на практике применяют также *несимметричные*, или полууправляемые, мостовые схемы, в которых только половина вентиляей, например катодной группы, являются управляемыми, а вентилями анодной группы являются диоды (рис. 1.11, *г*).

В реверсивных электроприводах с малым быстродействием устанавливают однокомплектные тиристорные преобразователи с переключателем полярности (реверсором) в цепи якоря, а в быстродействующих приводах — двухкомплектные преобразователи с встречно-параллельной (рис. 1.12, *а*) или перекрестной (рис. 1.12, *б*) схемами (первичные обмотки питающих трансформаторов на схемах не показаны). При встречно-параллельной схеме оба комплекта $Bn1$ и $Bn2$ тиристоров питаются от общей обмотки трансформатора Tp , при перекрестной схеме каждый комплект их питается от отдельной обмотки трехобмоточного трансформатора.

Принципы управления тиристорными преобразователями электроэнергии освещаются подробно в гл. 5, 7 и 8 на примере конкретных схем тиристорных электроприводов. Рассмотрим некоторые схемы тиристорных преобразователей, серийно выпускаемых для электропривода.

Тиристорные комплектные преобразовательные агрегаты модернизированных серий ТПЗ, ТПРЗ, ТЕЗ, ТЕРЗ (для питания регулируемым напряжением якорных цепей) и ТП9, ТПР-9, ТЕ9, ТЕР9 (для питания обмоток возбуждения электрических машин постоянного тока) изготавливаются Харьковским электромеханическим заводом (ХЭМЗ) на мощность 10...500 кВт. В реверсивных агрегатах выпрямительные группы отдельно управляемых вентиляей (тиристоров) включены встречно-параллельно (рис. 1.12, *а*). В обозначении агрегатов буквами указано: Т — тиристорный; П, Е — охлаждение тиристоров принудительное воздушное или естественное; Р — реверсивный (отсутствие буквы Р — неревверсивный). Цифры после буквенного обозначения означают: 3 — якорные преобразователи; 9 — возбуждители. Затем в виде дроби указываются значения номинальных тока в амперах (числитель) и напряжения в вольтах (знаменатель). Кроме того, буквами показывается способ подключения агрегата к сети (Т — через трансформатор, Р — через токоограничивающий реактор), цифрами — модификация исполнения токопроводов переменного и постоянного тока (сверху, снизу) и климатическое исполнение агрегата. Например, агрегат типа ТПЗ-320/230Т-30У4 — это неревверсивный тиристорный преобразователь для якорных цепей с воздушным принудительным охлаждением на номинальные ток 320 А и напряжение 230 В, с подключением к сети через питающий трансформатор, исполнение токопроводов 30, климатическое исполнение У (умеренный климат), для установки в закрытых отапливаемых помещениях [31].

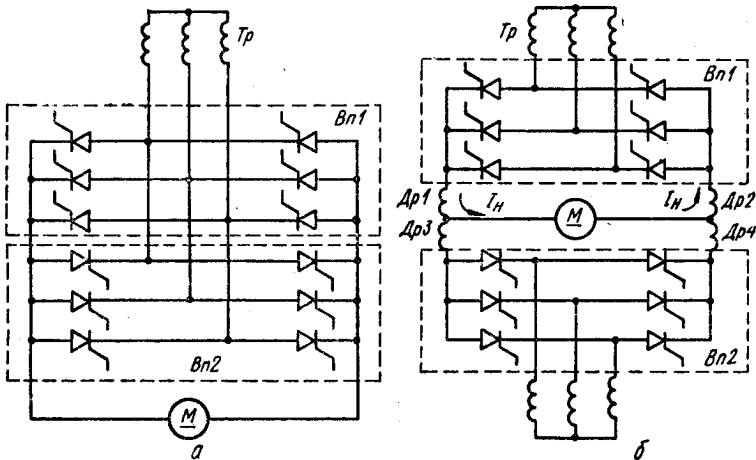


Рис. 1.12. Встречно-параллельная (а) и перекрестная (б) схемы двухкомплектных реверсивных тиристорных преобразователей

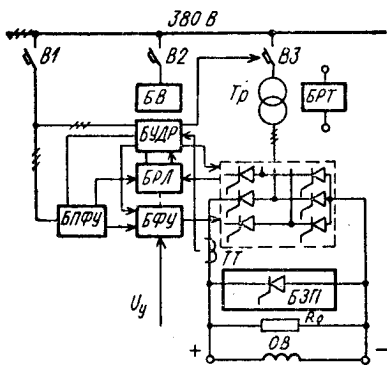


Рис. 1.13. Функциональная схема тиристорного преобразователя серии ТП9:

$B1, \dots, B3$ — автоматические выключатели; $БВ$ — блок вентилятора; $Тр$ — трансформатор; $БРТ$ — блок реакторов; $БПФУ$ — блок питания системы фазового управления; $БФУ$ — блок фазового управления; $БЧДР$ — блок управления дистанционным расцепителем автомата; $БРЛ$ — блок реле; $ТТ$ — трансформатор постоянного тока; $БЗП$ — блок защиты преобразователя; $ОВ$ — обмотка возбуждения

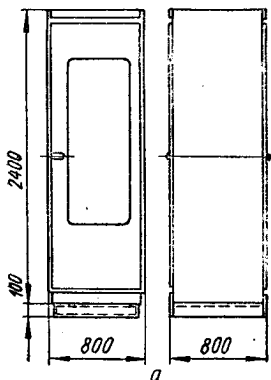
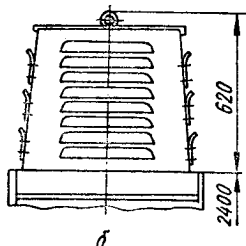


Рис. 1.14. Общий вид преобразовательной секции (а) и блока реакторов (б) агрегата ТПЗ на ток 500 А



Функциональная схема нереверсивного тиристорного преобразователя серии ТП9 показана на рис. 1.13. Силовая часть его выполнена по трехфазной мостовой схеме. Выпрямленное напряжение (ток) изменяется в зависимости от сигнала управления U_y , поступающего на блок фазового управления БФУ, в котором формируются и сдвигаются по фазе в пределах $0...160^\circ$ импульсы, отпирающие тиристоры для регулирования напряжения от 0 до 100% номинального. Конструктивно преобразовательная секция агрегата (рис. 1.14, а) состоит из одного или двух шкафов. Блок реакторов (для агрегатов на 460 В) устанавливается сверху шкафа преобразовательной секции (рис. 1.14, б).

Тиристорные преобразовательные агрегаты серии ТПЗ и ТПРЗ большой мощности (до 12 000 кВт) разработаны НИИ «ХЭМЗ» для питания якорных цепей электродвигателей постоянного тока. Серия включает в себя 86 типоразмеров агрегатов на номинальные токи 1600...12 500 А и напряжения 660, 825 и 1050 В. В комплект агрегатов входят силовой питающий трансформатор на первичное напряжение 6 и 10 кВ, преобразовательные секции, сглаживающие и уравнивающие реакторы, блоки управления, регулирования, защиты и сигнализации. Охлаждение агрегатов — воздушное принудительное.

Выпрямительные группы тиристоров одного направления соединяются параллельно. Для уменьшения пульсаций питания их производится от трансформатора с двумя вторичными обмотками, одна из которых соединяется в звезду, а другая — в треугольник. Напряжения обмоток при этом сдвигаются по фазе на 30° , а выпрямленное напряжение имеет 12-фазные эквивалентные пульсации. В данном случае при полностью открытых тиристорах коэффициент пульсаций примерно в 4 раза меньше, чем в шестифазных схемах ($k_n = 0,0102$).

Вместе с тем потребление реактивной мощности при глубоком регулировании мощных тиристорных агрегатов значительное. Стоимость мощных тиристорных преобразователей пока превышает стоимость соответствующих электромашинных агрегатов. Вследствие этих факторов в диапазоне больших мощностей продолжают использоваться электроприводы с системой Г—Д.

Тиристорные преобразовательные агрегаты серии АТ и АТР (изготовитель — ПО «Преобразователь», г. Запорожье) предназначены для питания напряжением 230 и 460 В якорных цепей и цепей возбуждения двигателей постоянного тока мощностью до 1150 кВт. Эти агрегаты, как и предыдущие, выполняются по трехфазной мостовой схеме и выпускаются в реверсивном (АТР) и нереверсивном (АТ) исполнениях. Для защиты от токов короткого замыкания последовательно с каждым тиристором включен быстродействующий плавкий предохранитель типа ПНБ-5 (ПНБ-5М). Конструктивно тиристорные агрегаты данной серии представляют собой комплектные устройства, состоящие из одного или нескольких шкафов двустороннего обслуживания. В агрегатах на ток до 500 А и напряжение 230 В преобразователь-

ный трансформатор размещается внутри шкафа, а в агрегатах большей мощности устанавливается отдельно. Охлаждение силовых тиристоров в агрегатах на ток до 200 А — естественное, в более мощных агрегатах — воздушное принудительное.

Комплектные тиристорные устройства серии КТУ (изготовитель — Таллинский электротехнический завод им. Калинина) предназначены для питания якорных цепей двигателей постоянного тока, цепей возбуждения электрических машин постоянного тока и синхронных, а также для питания цеховых сетей постоянного тока. Эти агрегаты выпускаются на номинальные выпрямленные ток 50...1000 А и напряжение 230, 345 и 460 В в реверсивном и нереверсивном исполнениях. Агрегаты данной серии рассчитаны на длительный режим работы. Допускается повторно-кратковременный режим для агрегатов, питающих двигатели. Охлаждение — воздушное, принудительное или естественное. В комплект агрегатов серии КТУ, кроме тиристорного преобразователя, входят также устройства для управления электроприводом. Выпускается несколько типоразмеров агрегатов, отличающихся между собой схемой системы импульсно-фазового управления, составом блоков универсальной блочной системы регулирования (УБСР) и типом шкафов с релейной и силовой коммутационной аппаратурой.

Конструктивно агрегат серии КТУ (рис. 1.15) представляет собой сборку шкафов и другого оборудования (трансформатора или реактора). В единый щит входят: шкаф собственно тиристорного преобразователя 5, шкаф управления 4, шкаф релейно-контакторной аппаратуры 3, шкаф с автоматами на стороне переменного тока 6, шкаф контакторной аппаратуры привода 7. При необходимости устанавливается высоковольтное вводное устройство 1 (закрытый шкаф с выключателем нагрузки типа ВН-11 и трансформаторами тока). Для питания агрегата от сети напряжением 6 и 10 кВ служит сухой трансформатор 2 открытого (тип ТСП) или защищенного (тип ТСЗП) исполнения (на выпрямленное напряжение 460 В к сети 380 В агрегат подключается без трансформатора — через реактор).

Реверсивные тиристорные агрегаты серии АТРК для крановых электроприводов (изготовитель — ПО «Преобразователь», г. Запорожье) выпускаются на номинальные выпрямленные ток 100, 160, 250 и 500 А и напряжение 230 и 460 В. Силовая часть агрегата с двумя трехфазными мостами выполняется по схеме, показанной на рис. 1.12, а.

Конструктивно агрегат серии АТРК представляет собой металлический шкаф одностороннего обслуживания, в котором расположены силовые блоки, система управления, аппараты защиты и сигнализации. Силовой питающий трансформатор серии ТСЗР устанавливается вне шкафа. Охлаждение агрегата — воздушное естественное.

Тиристорные преобразователи частоты серии ТПЧ (изготовитель — ПО «Преобразователь», г. Запорожье) пред-

назначены для питания асинхронных двигателей мощностью до 100 кВт напряжением регулируемой частоты в пределах 5...60 Гц (в некоторых типах — 5...80 Гц) с одновременным изменением его амплитуды, что позволяет плавно изменять частоту вращения двигателя в диапазоне 12:1 (16:1) при постоянном моменте, равном номинальному моменту двигателя. Преобразователи обеспечивают плавный пуск и частотное торможение двигателей без рекуперации энергии в сеть.

Конструктивно преобразователь частоты серии ТПЧ представляет собой металлический шкаф двустороннего обслуживания, в котором размещены силовой трансформатор, блоки тиристорного выпрямителя и инвертора, система управления и коммутационная аппаратура. Сверху шкафа устанавливается вентилятор для воздушного принудительного охлаждения преобразователя.

Комплектные преобразователи частоты серии ПЧИ мощностью 125...500 кВт·А выпускает ХЭМЗ для питания асинхронных двигателей роликовых конвейеров и других асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором. Эти преобразователи обеспечивают плавное изменение частоты в пределах 2...70 Гц и работу двигателя в следующих циклах: разгон до установившейся частоты вращения и ее поддержание на заданном уровне, торможение до ползучей частоты вращения с рекуперацией энергии в сеть, остановка или (при необходимости) реверс и разгон в противоположную сторону.

Конструктивно преобразователь частоты серии ПЧИ выполнен в виде каркасного закрытого щита двустороннего обслуживания, внутри которого размещены сам преобразователь, блоки управления, коммутационная и измерительная аппаратура.

Преобразователи серии ПАВК (изготовитель — завод «Электровыпрямитель», г. Саранск) предназначены для регулирования неререверсивных приводов, содержащих асинхронные двигатели с фазным ротором мощностью 250...5000 кВт, с использованием схемы асинхронного вентиляемого каскада (АВК) со звеном постоянного тока и неуправляемой роторной группой. Эти преобразователи позволяют регулировать частоту вращения асинхронных двигателей вниз от асинхронной (диапазон регулирования от 1,5:1 до 10:1), обеспечивая режимы динамического и генераторного торможения.

Функциональная схема электропривода с преобразователем серии ПАВК показана на рис. 1.16. Неуправляемый выпрямитель $Vn1$ в цепи ротора и тиристорный инвертор $Vn2$ собраны по трехфазным мостовым схемам. Противоз. д. с. инвертора регулируется с помощью системы управления СУ, изменяющей фазу управляющих импульсов, подаваемых на тиристоры.

Конструктивно преобразователь серии ПАВК выполняется в виде нормализованного металлического шкафа двустороннего обслуживания.

Тиристорные станции управления серий ТСУ и ТСУР (изготовитель — ПО «Преобразователь», г. Запорожье)

служат для пуска и реверса (ТСУ), а также для регулирования частоты вращения (ТСУР) трехфазных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором мощностью до 100 кВт. Станции серии ТСУР предназначены для использования в подъемно-транспортных машинах, станочных электроприводах и прочих механизмах с неглубоким регулированием скорости и

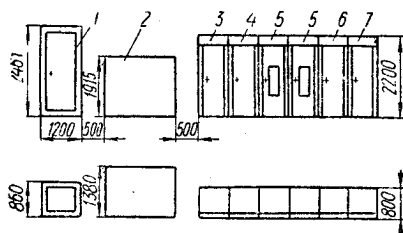


Рис. 1.15. Общий вид агрегата серии КТУ с питанием от силового трансформатора напряжением 6—10 кВ

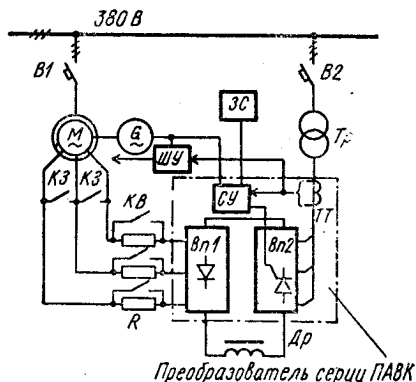


Рис. 1.16. Функциональная схема электропривода с преобразователем серии ПАВК: В1, В2 — автоматические выключатели; М — асинхронный двигатель с фазным ротором; G — тахогенератор; ЗС — задатчик скорости; ШУ — станция управления; Тр — трансформатор; КЗ, КВ — контакторы станции управления; ТТ — трансформатор тока; Др — сглаживающий дроссель; R — пусковой резистор

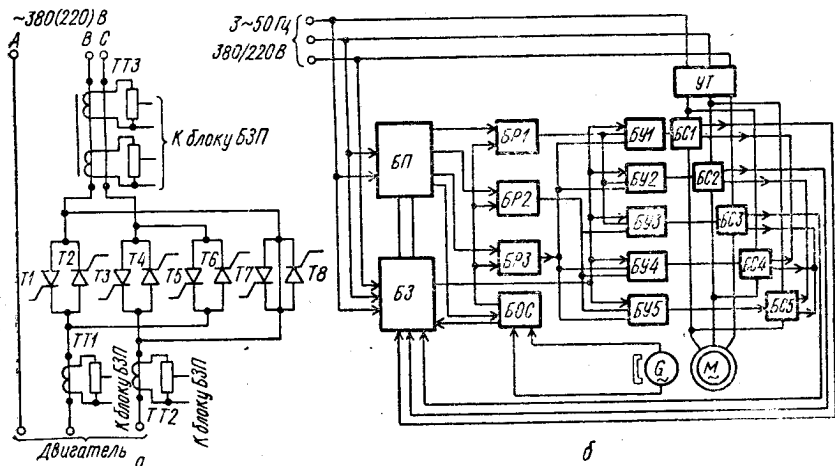


Рис. 1.17. Схемы тиристорных станций управления: а — принципиальная серии ТСУ; б — структурная серии ТСУР

малым временем работы на пониженных скоростях (буровые станки, центрифуги, насосы, вентиляторы), а также в других реверсивных асинхронных приводах с большим числом включений в час и повышенным быстродействием. Время формирования пуска и реверса составляет 0,01...0,5 с.

Особенностью принципиальных схем этих станций (рис. 1.17, а) является встречно-параллельное включение тиристоров в силовых блоках, которые используются для целей бесконтактной коммутации цепей статора асинхронного двигателя и для регулирования (в ТСУР) его частоты вращения за счет импульсно-фазового управления тиристорами. Заданный режим работы обеспечивается блоками $БР1$, ..., $БР3$, воздействующими на блоки управления $БУ1$, ..., $БУ5$ (рис. 1.17, б). Обратная связь (о. с.) * по скорости (блок $БОС$) выполнена с использованием тахогенератора G . Блок защиты $БЗ$ осуществляет защиту станции и двигателя от токов коротких замыканий, перегрузки, коммутационных перенапряжений, обрыва фаз и нулевую защиту. Для ограничения токов коротких замыканий служат токоограничивающие устройства $УТ$ — воздушные реакторы или резисторы (в станциях на номинальный ток 4 и 10 А).

Кроме указанных блоков, в станцию управления входят блоки питания $БП$. Все блоки унифицированной конструкции встроены в металлический шкаф.

1.4. ВЫБОР ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ И ИХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Выбор преобразователя производят в зависимости от вида электропривода, его мощности и режима работы. Сравнение типов преобразователей (видов электропривода) и оценку их технического уровня необходимо производить на основании системного анализа, т. е. учитывать не только технико-экономические показатели преобразователя, но также эксплуатационные и энергетические показатели электропривода в целом, влияние преобразователя на остальные потребители сети и другие факторы.

Основными параметрами преобразователя являются номинальные значения тока и напряжения на выходе ($I_{ном}$ и $U_{ном}$). При выборе преобразователя по этим параметрам должны выполняться условия:

$$I_{ном} \geq I_{н.дв}; \quad (1.4)$$

$$U_{ном} \geq U_{н.дв}, \quad (1.5)$$

где $I_{н.дв}$, $U_{н.дв}$ — номинальные значения тока и напряжения приводимого двигателя.

Полупроводниковый преобразователь необходимо проверить на допустимые перегрузки (по амплитуде тока перегрузки и его

* См. сноску на с. 156.

продолжительности и цикличности). Условия проверки следующие:

$$I_{\text{ном}} \gamma_T \geq I_{\text{max}}; \quad (1.6)$$

$$t_{\text{п}} \geq t_{\text{max}}, \quad (1.7)$$

где γ_T — коэффициент допустимой перегрузки преобразователя по току (каталожное значение); I_{max} , t_{max} — максимальный ток нагрузки и его продолжительность; $t_{\text{п}}$ — длительность допустимой перегрузки (по каталогу).

Для некоторых преобразователей нормируется также допустимая цикличность перегрузки $T_{\text{п}}$. В этом случае дополнительное условие проверки имеет вид

$$T_{\text{п}} \leq T_{\text{ц}}, \quad (1.8)$$

где $T_{\text{ц}}$ — расчетное время цикла перегрузки.

Для большинства преобразователей постоянного тока $\gamma_T = 2$, $t_{\text{п}} = 10 \dots 20$ с при работе в циклическом режиме со временем цикла не менее 1 мин. Длительно допустимая сила тока при циклическом режиме работы (т. е. предельное значение среднего квадратического тока нагрузки) должна соответствовать номинальному току преобразователя.

При выборе преобразователя по напряжению [условие (1.5)] следует иметь в виду, что хотя тиристорные преобразователи обеспечивают плавное регулирование выходного напряжения за счет изменения фазы управляющих импульсов, в зарегулированном режиме их энергетические показатели ухудшаются, так как потребление из сети реактивной мощности с высшими гармониками возрастает.

Коэффициент мощности управляемого выпрямителя на тиристорах определяется выражением

$$k_m = P_1 / S_1 = k_n \cos \varphi_1, \quad (1.9)$$

где P_1 , S_1 — активная и полная мощности, потребляемые из сети; φ_1 — угол сдвига фаз основной гармоники первичного тока относительно напряжения сети; $k_n < 1$ — коэффициент искажения первичного тока, равный отношению действующего значения тока основной гармоники к действующему значению первичного тока.

При регулировании выпрямленного напряжения первичный ток смещается относительно напряжения. В случае мгновенной коммутации $\varphi_1 = \alpha$, и тогда

$$k_m = k_n \cos \alpha, \quad (1.10)$$

где α — угол регулирования (управления) тиристоров.

Для управляемых выпрямителей, собранных по схемам, изображенным на рис. 1.11, а, б и в,

$$\cos \alpha = U_d / U_{d0}, \quad (1.11)$$

где U_d — среднее значение выпрямленного напряжения; U_{d0} — выпрямленное напряжение в неуправляемом режиме, т. е. при $\alpha = 0$.

За счет процесса коммутации происходит дополнительный сдвиг основной гармоники первичного тока. При линейной коммутации коэффициент сдвига фаз и коэффициент мощности управляемого выпрямителя определяются выражениями:

$$\begin{aligned} \cos \varphi_1 &= \cos(\alpha + \gamma/2); \\ k_M &= k_n \cos(\alpha + \gamma/2), \end{aligned} \quad (1.12)$$

где γ — угол коммутации, зависящий от относительного тока нагрузки и приведенной индуктивности питающей сети.

Зависимость коэффициента сдвига фаз от угла управления при различных углах коммутации показана на рис. 1.18, а.

Коэффициент искажения кривой тока трехфазного мостового выпрямителя с достаточной для практических расчетов точностью можно найти по формуле

$$k_n = \frac{3}{\pi} \left(1 + \frac{\gamma}{4\pi} - \frac{\gamma^2}{24} \right). \quad (1.13)$$

Нетрудно убедиться в том, что при изменении угла γ от 0 до $\pi/3$ (60°) коэффициент искажения меняется незначительно и приближенно $k_n = 3/\pi$. Тогда коэффициент мощности выпрямителя

$$k_M = \frac{3}{\pi} \cos \alpha. \quad (1.14)$$

График этой зависимости показан на рис. 1.18, б. Для сравнения там же изображена зависимость коэффициента мощности ($\cos \varphi_1$) идеализированного управляемого выпрямителя, когда $k_n = 1$ и $\gamma = 0$.

При глубоком регулировании выпрямленного напряжения из сети потребляется значительная реактивная мощность, поскольку

$$Q_1 = P_1 \operatorname{tg}(\alpha + \gamma/2). \quad (1.15)$$

Для повышения коэффициента мощности управляемого выпрямителя следует стремиться к работе с небольшими углами регулирования α .

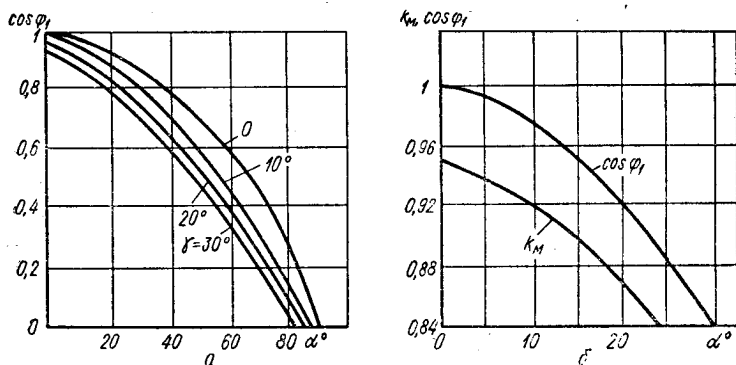


Рис. 1.18. Зависимости коэффициента сдвига фаз управляемого выпрямителя при различных углах коммутации (α) и коэффициента мощности трехфазного мостового выпрямителя (β) от угла управления

Коэффициент мощности зависимого инвертора определяется выражением

$$k_m = k_n \cos(\beta - \gamma/2), \quad (1.16)$$

где β — угол инвертирования.

Как следует из (1.16), коэффициент мощности инвертора при уменьшении угла инвертирования повышается, однако при этом понижается и угол запаса $\delta = \beta - \gamma$, что приводит к снижению устойчивости инвертора. Чтобы уменьшить потребление реактивной мощности, вентиляльные преобразователи больших мощностей выполняют по специальным схемам [31]: с нулевыми вентилями, с несимметричным фазовым управлением и искусственной коммутацией и др. Кроме того, используют внешние средства компенсации: статические источники реактивной мощности и синхронные компенсаторы.

К. п. д. выпрямителя при малых пульсациях выпрямленного тока рассчитывается по формуле

$$\eta_{\text{в}} = P_d / P_1 = U_d I_d / P_1. \quad (1.17)$$

Активная мощность P_1 , потребляемая выпрямителем из сети, больше выпрямленной мощности P_d на величину потерь, которые можно разбить на следующие составные части: потерю в вентилях $\Delta P_{\text{в}}$; потерю в питающем трансформаторе $\Delta P_{\text{тр}}$; потерю в реакторах $\Delta P_{\text{р}}$; потерю во вспомогательных устройствах (системах управления и охлаждения) $\Delta P_{\text{в.с}}$.

В этом случае можно записать:

$$\eta_{\text{в}} = \frac{P_d}{P_d + \Delta P_{\text{в}} + \Delta P_{\text{тр}} + \Delta P_{\text{р}} + \Delta P_{\text{в.с}}}. \quad (1.18)$$

Потеря $\Delta P_{\text{в.с}}$ практически постоянна, а остальные составляющие зависят от тока нагрузки выпрямителя.

К. п. д. преобразователя частоты определяется выражением

$$\eta_{\text{п.ч}} = P_2 / P_1,$$

где P_2 и P_1 — соответственно активные мощности на выходе и входе преобразователя.

При проектировании устройств электроснабжения для вентиляльного электропривода рассчитывают активную, реактивную и полную мощности, потребляемые преобразователем из сети при номинальной нагрузке (длительный максимум):

$$P_{1\text{max}} = P_{\text{ном}} / \eta_{\text{ном}}; \quad Q \cong \sqrt{S_{1\text{max}}^2 - P_{1\text{max}}^2}; \quad (1.19)$$

$$S_{1\text{max}} = P_{\text{ном}} k_{\text{м.ном}} \eta_{\text{ном}}. \quad (1.20)$$

Здесь $k_{\text{м.ном}}$ — коэффициент мощности преобразователя при номинальных параметрах, $\eta_{\text{ном}}$ — номинальное значение его к. п. д. (по каталогу).

Для преобразователей серий ГП(Р), ГЕ(Р) с подключением через трансформатор $\eta_{\text{ном}} = 0,94 \dots 0,95$, с подключением через реактор $\eta_{\text{ном}} = 0,95 \dots 0,97$. Для преобразователей серии ГПЧ $\eta_{\text{ном}} =$

$= 0,8 \dots 0,94$, а $k_{м.ном} = 0,8 \dots 0,85$. Для некоторых преобразователей в каталогах указывается значение номинальной мощности $S_{1ном}$ (кВ · А), потребляемой из сети.

Расчетные значения тока для выбора аппаратов и проводников первичной цепи трехфазного преобразователя находят по формуле

$$I_1 = S_{1max} / (\sqrt{3} U_{1ном}), \quad (1.21)$$

где $U_{1ном}$ — номинальное линейное напряжение на первичной стороне преобразовательного трансформатора.

1.5. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АППАРАТУРЕ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

Аппаратура управления электроприводом выполняет разнообразные функции: пуск и остановку двигателя, реверсирование, торможение и регулирование его частоты вращения. В современном электроприводе эти операции полностью или частично автоматизированы благодаря применению специальных устройств (контактных и бесконтактных). Отдельная группа автоматических устройств осуществляет функции защиты, сигнализации и блокировки. В некоторых аппаратах функции управления и защиты совмещены. Часть операций по управлению электроприводом выполняет оператор с помощью аппаратов ручного управления, к которым относятся рубильники, переключатели, кнопочные пускатели и контроллеры.

Кроме перечисленных, можно выделить следующие группы аппаратов дистанционного и автоматического управления: командоаппараты, автоматические выключатели, контакторы, пускатели (контактные и бесконтактные), реле управления и защиты, резисторы, усилители, датчики, логические элементы, электромагнитные устройства для линейных перемещений и плавкие предохранители.

1.6. КОММУТАЦИОННЫЕ АППАРАТЫ РУЧНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Рубильник — это коммутационный аппарат с контактами рубящего типа (клиновые контакты) и ручным приводом на два положения («включено», «отключено»).

Переключатель — это разновидность рубильника на два рабочих и одно нейтральное положения для поочередного подключения к двум различным электрическим цепям. Рубильники и переключатели бывают одно-, двух- и трехполюсными. Рубильники-разъединители (Р) и переключатели-разъединители (П) с центральной рукояткой выпускаются без дугогасительных устройств. Они предназначены для отключения ненагруженных электрических цепей и создания видимого разрыва, например при ремонтах и осмотрах электроприводов с автоматическим управлением. Рубильники с боковым рычажным приводом (РПБ) и с централь-

ным рычажным приводом (РПЦ), а также соответствующие переключатели (ППБ и ППЦ) изготавливаются с дугогасительными камерами и могут коммутировать токи в пределах 50...100 % номинального (в зависимости от рода и значения напряжения). Выбор рубильников и переключателей производится по номинальному току, напряжению и конструктивному выполнению.

Кнопочный пускатель применяется для ручного включения и отключения трехфазных асинхронных электродвигателей малой мощности. На рис. 1.19, а показан такой пускатель типа ПНВ для управления трехфазными асинхронными двигателями мощностью до 4,5 кВт при напряжении до 500 В. Этот пускатель имеет трехполюсную контактную систему мостикового типа (рис. 1.19, б). При нажатии кнопки «Пуск» контакты замыкаются и взводится отключающая пружина, которая удерживается механизмом защелки. Для отключения нажимается кнопка «Стоп», которая расцепляет удерживающую защелку, и под

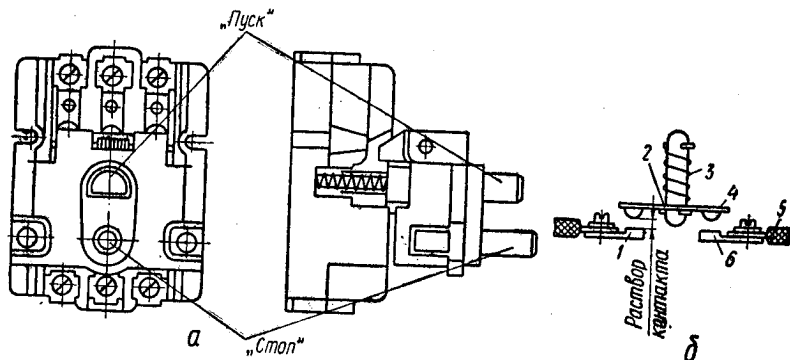


Рис. 1.19. Общий вид (а) и электрический контакт (б) кнопочного пускателя типа ПНВ:

1 — 6 — неподвижные контакты; 2 — траверса; 3 — пружина; 4 — подвижные контакты; 5 — провод

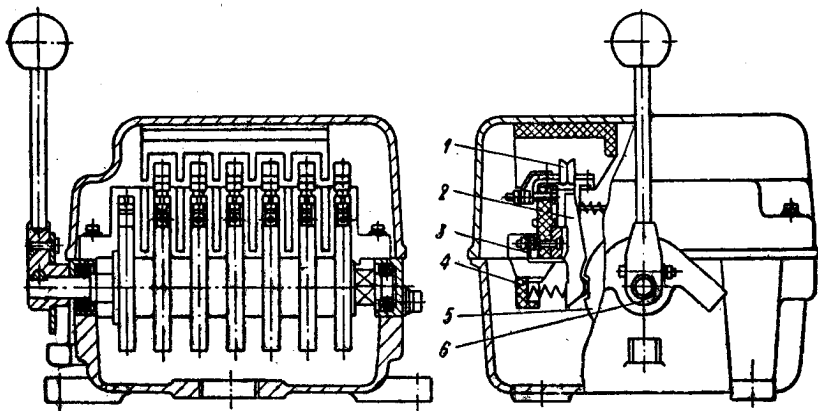


Рис. 1.20. Кулачковый контроллер серии ККТ60А

действием пружины контакты размыкаются. При этом скорость размыкания цепи достаточно велика и от скорости движения кнопки не зависит.

К о н т р о л л е р — это многоступенчатый коммутационный аппарат для непосредственных переключений в главных цепях и в цепях возбуждения двигателей напряжением до 500 В, а также для изменения сопротивлений резисторов, включенных в эти цепи. Кулачковые контроллеры получили широкое распространение в крановых электроприводах переменного тока мощностью до 30 кВт и постоянного тока мощностью до 20 кВт. В контроллере переменного тока коммутация естественная, без дугогасительных устройств. Коммутационные элементы контроллера постоянного тока аналогичны по конструкции, но каждый из них имеет дугогасительное устройство с магнитным дутьем.

Коммутационные элементы кулачкового контроллера (рис. 1.20) размещены на двух пластмассовых рейках 3. Главные контакты 1 выполнены из меди. Неподвижные контакты укреплены непосредственно на пластмассовых рейках, а подвижные установлены на рычагах 2 с шарнирно-пружинной связью между рычагом и контактом. На валу контроллера, поворачиваемого рукояткой 6, смонтированы кулачковые шайбы 5, каждая из которых имеет определенный профиль для создания необходимой последовательности коммутации контактов. При набегании гребня кулачковой шайбы на ролик контактного рычага контакты размыкаются, при сходе ролика с гребня рычаг под действием возвратной пружины переводит контакты в замкнутое состояние. Электрическая связь с подвижными контактами осуществляется через гибкое соединение 4.

Контроллеры переменного тока серии ККТ60 применяются в основном исполнении для управления асинхронными двигателями с фазным ротором. Кулачковые контроллеры постоянного тока серии КВ1 используются для управления двигателями серии Д и ДП последовательного, параллельного и смешанного возбуждения.

Выбор контроллера производится исходя из типа и мощности управляемого им двигателя. Основным параметром контроллера является номинальный ток главной цепи при $PВ=40\%$ и общей продолжительности цикла не более 4 мин. Номинальной мощностью контроллера считается мощность управляемого им двигателя при номинальных напряжении и токе. Предельная мощность кулачкового контроллера зависит от режима работы механизма и определяется в основном износостойкостью коммутирующих контактных элементов (уменьшается с увеличением числа включений в час). Так, например, предельная мощность контроллера типа ККТ61А при напряжении 380 В и числе включений в час до 60 равна 30 кВт, а при числе включений в час от 60 до 150 — 20 кВт [18]. Для расширения верхнего предела мощности управляемых двигателей кулачковые контроллеры применяют вместе с контакторными реверсорами, коммутационные свойства которых намного выше, чем контактов контроллера.

1.7. КОМАНДОАППАРАТЫ

Командоаппараты — это аппараты, на которые воздействует оператор или рабочая машина и которые предназначены для осуществления переключения в цепях управления электромагнитными контакторами и реле, регуляторами, усилителями, преобразователями и т. п. К таким аппаратам относятся кнопки, переключатели и ключи управления, командоконтроллеры, путевые и конечные выключатели.

Кнопки (кнопочные переключатели) применяются при дистанционном управлении сравнительно редко пускаемыми двигателями для выполнения простых операций: включения и отключения одного-двух контакторов и отдельных вспомогательных цепей. В кнопочный пост управления входит от одной до трех кнопок, которые имеют электрически не связанные между собой замыкающие и размыкающие контакты с двойным разрывом цепи (аналогичные рис. 1.19, б). Кнопки серии КЕ с 1...4 контактами на номинальный ток 6 А и серии КМЕ с одним-двумя контактами на номинальный ток 2,5 А выпускаются с цилиндрическими и грибовидными толкателями и с различным сочетанием замыкающих и размыкающих контактов [32].

Универсальные переключатели (рис. 1.21, а) — это многоцепные аппараты для редких ручных переключений цепей управления и автоматики. Переключатели серий УП-5300, УП-5400 (в защищенном исполнении) имеют сравнительно мощные контакты (длительная нагрузка до 16 А) и выпускаются с количеством секций от 2 до 16. Каждая такая секция (рис. 1.21, б) содержит два контакта, которые замыкаются или размыкаются выступами кулачковой шайбы, насаженной на общий валик, вращаемый рукояткой. Подбором стандартных шайб разной конфигурации обеспечивается определенная программа замыкания контактов. Универсальные переключатели выпускаются с самовозвратом рукоятки в начальное положение и с ее фиксацией в каждом положении.

Ключи управления по назначению сходны с универсальными переключателями и позволяют реализовать более разнообразные программы переключений контактов, хотя мощность последних меньше (длительный ток 10 А).

Командоконтроллеры — это аппараты, предназначенные для дистанционных переключений в нескольких цепях сравнительно малой мощности (максимальный коммутируемый переменный ток — 10 А, постоянный при напряжении 220 В и индуктивной нагрузке — 1,5 А). Применяют два вида командоконтроллеров: *контактные* и *бесконтактные* (сельсинные).

Контактный командоконтроллер представляет собой многопозиционный аппарат с заданной программой замыкания и размыкания контактов при повороте приводного вала вручную или через механический привод. Конструкция такого аппарата серии КП-1000 показана на рис. 1.22. В данной конструкции контактные

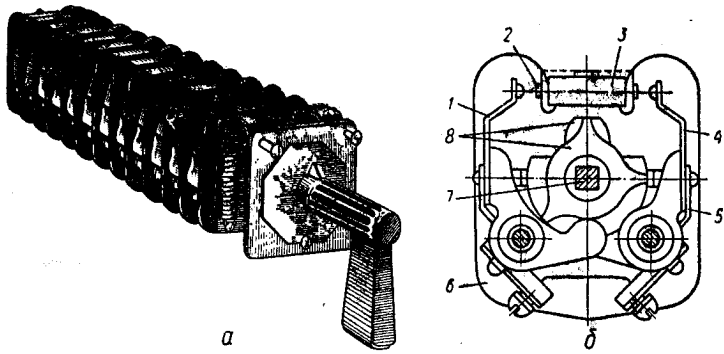


Рис. 1.21. Общий вид (а) и секция (б) универсального переключателя: 1 — подвижный контакт; 2 — неподвижный контакт; 3 — изоляционная рейка; 4 — клемма; 5 — гибкое контактное соединение; 6 — изоляционная перегородка; 7 — валик; 8 — кулачковые шайбы

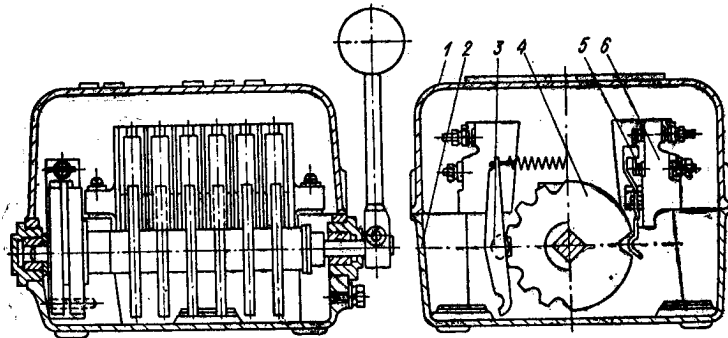


Рис. 1.22. Контактный командоконтроллер серии КП-1000

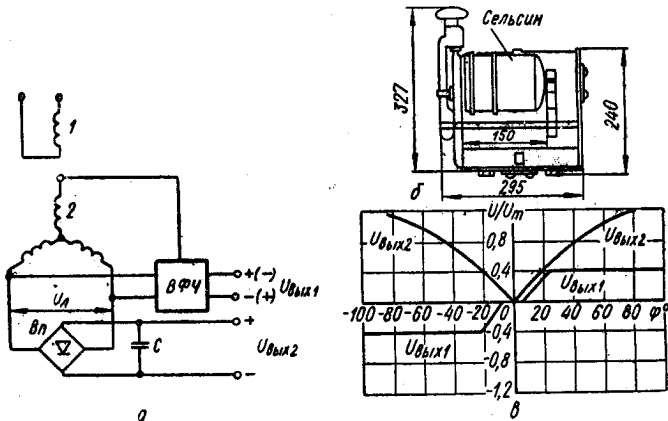


Рис. 1.23. Общий вид (а) принципиальная схема (б) и зависимость выходных напряжений бесконтактного командоконтроллера типа КП-1800 от угла поворота ротора сельсина (в)

элементы с мостиковыми контактами 5 размещены на двух пластмассовых рейках 6. Замыкание и размыкание контактов происходит под действием кулачковых шайб 4. Рабочее и нулевое положения кулачкового барабана фиксируются с помощью храповикового устройства 3. Командоконтроллер помещен в корпус 2 с крышкой 1, которые изготавливаются из алюминиевых сплавов.

Бесконтактные командоконтроллеры применяются для управления электроприводами с замкнутыми системами регулирования. Распространение получили бесконтактные командоконтроллеры типа КП-1800 на основе сельсина типа БД404А, работающего в режиме поворотного трансформатора (рис. 1.23, б). Принципиальная схема такого контроллера с выходом на постоянном токе показана на рис. 1.23, а. Однофазная обмотка сельсина 1 подключена к сети переменного тока частотой 50 Гц. Линейное напряжение $U_{\text{л}}$ на вторичной обмотке 2 при повороте ротора сельсина изменяется от нуля в начальном положении ротора (угол $\varphi=0$) до максимального значения $U_{\text{л max}}$ при повороте ротора на $\pm 90^\circ$. Это напряжение подается на вход фазочувствительного выпрямителя ВФЧ и на выпрямитель V_n с конденсаторным фильтром С для сглаживания пульсаций.

Зависимость выходных напряжений $U_{\text{вых1}}$ и $U_{\text{вых2}}$ от угла поворота ротора φ показана на рис. 1.23, в. Выходное напряжение $U_{\text{вых1}}$ как задающее подводится к обмотке управления магнитного усилителя (МУ), используемого в схеме электропривода по системе УВ—Д или Г—Д. С другого выхода командоконтроллера снимается напряжение $U_{\text{вых2}}$, которое может быть использовано, например, для управления преобразователем питания обмотки возбуждения приводного двигателя при двухзонном регулировании его частоты вращения.

Путевые выключатели — это командоаппараты, кинематически связанные с рабочей машиной и срабатывающие в определенных точках пути ее движущихся частей. Выключатели служат для автоматического замыкания и размыкания цепи в функции пути и для аварийного ограничения хода движущихся частей (концевые выключатели). Основные разновидности их следующие: нажимные (кнопочные), рычажные и вращающиеся. Первые два вида применяют преимущественно в качестве концевых выключателей.

В нажимном выключателе (рис. 1.24) привод в виде толкателя 1 с полукруглой головкой переключает подвижный контакт 3 с контактами 2 и 4. В рычажном выключателе контакты переключаются путем воздействия на рычаг с роликом. Вращающийся путевой выключатель выполнен подобно кулачковому командоконтроллеру. Его вал непосредственно или через редуктор соединен с валом механизма.

Существенным недостатком контактных механических выключателей являются возможность разрегулировки их при частых переключениях и недостаточная надежность, особенно при больших скоростях движения механизма, а также значительный шум

и радиопомехи. В связи с этим в настоящее время все шире применяются аппараты с бесконтактными элементами, сельсинами, индуктивными и емкостными датчиками.

Путевые выключатели типа ВП2С содержат бесконтактный сельсин типа БД404А, схема и характеристики которого изображены на рис. 1.23. Сельсины могут пристраиваться также к рычажным и вращающимся путевым выключателям других типов.

Путевой выключатель с индуктивным датчиком срабатывает без непосредственного механического воздействия движущего

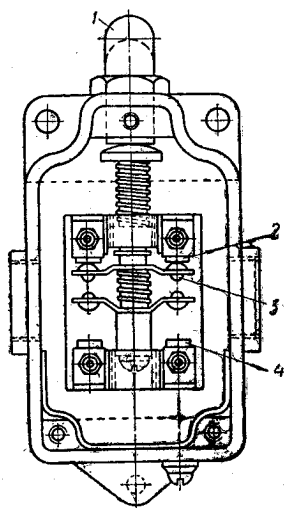


Рис. 1.24. Концевой выключатель нажимного действия

Рис. 1.25. Схематическое изображение (а) и схема включения (б) путевого выключателя с индуктивным датчиком

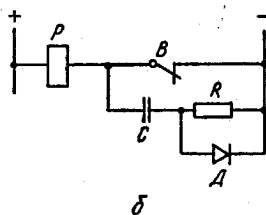
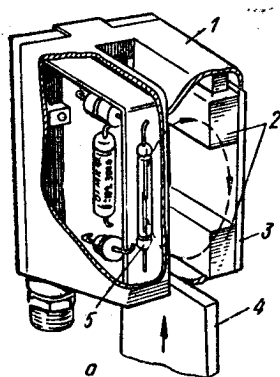
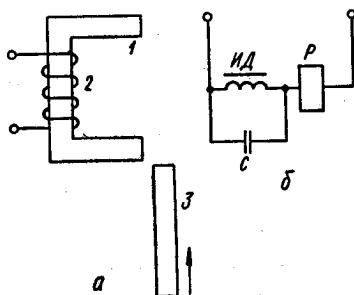


Рис. 1.26. Путевой датчик (выключатель) с герметизированным магнитоуправляемым контактом — герконом:

а — общий вид; б — схема включения; в — чертеж нормальной конструкции геркона

объекта. Индуктивный датчик представляет собой разомкнутую магнитную систему (рис. 1.25, а), состоящую из П-образного магнитопровода 1 с катушкой 2, и стальную пластину 3, которая связана с движущимся объектом. Схема включения датчика с выходным реле переменного тока показана на рис. 1.25, б.

При разомкнутой магнитной системе индуктивное сопротивление датчика *ИД* мало и по катушке реле *Р* протекает значительный ток. Когда при движении объекта пластина 3 займет положение посередине магнитопровода, индуктивное сопротивление цепи возрастет, ток в ней уменьшится и реле *Р* переключит свои контакты в исполнительных цепях. Для четкого срабатывания реле параллельно катушке датчика *ИД* подключен конденсатор *С*, емкость которого выбирается так, чтобы при замкнутой магнитной системе имел место резонанс токов ($\omega L = \frac{1}{\omega C}$). В этом случае ток, проходящий через катушку реле *Р*, будет мал.

Путевые датчики (выключатели) типа ДПЭ с герметизированными магнитоуправляемыми контактами — герконами наряду с индуктивными применяются в системах управления подъемно-транспортными машинами. Общий вид такого датчика показан на рис. 1.26, а.

В корпусе 1 датчика, выполненном из немагнитного сплава, размещены постоянные магниты 2. Они установлены на стальной пластине 3 и создают магнитное поле большой напряженности, которое в положении, показанном на рис. 1.26, а, замыкается через стальные пружины (контакт-детали) геркона 5, консольно укрепленные в запаянной стеклянной оболочке (рис. 1.26, в). Магнитный поток, проходя через контактные детали, вызывает перемещение их концов, в результате чего замыкается электрическая цепь и создается необходимая сила нажатия контактов. При наличии в зазоре датчика стального шунта 4, связанного с движущимся объектом, напряженность магнитного поля, действующего на магнитоуправляемый контакт, резко уменьшается. В результате этого ферромагнитные пружинящие контакт-детали *В* геркона размыкаются и цепь катушки исполнительного реле разрывается (рис. 1.26, б).

Для повышения надежности коммутации геркона в схеме предусмотрены диод *Д* и резисторно-емкостная цепочка *РС*. Разработаны варианты герконовых путевых выключателей с исполнительным реле переменного тока, коммутационная способность которых примерно в три раза выше, чем выключателей на постоянном токе.

1.8. РЕЗИСТОРЫ

В схемах электроприводов применяются *пусковые, регулировочные, тормозные, разрядные и добавочные* резисторы. В силовых цепях резисторы переключаются контактами коммутационных устройств ручного или автоматического управления (контроллеры,

контакты). Резисторные элементы могут комплектоваться в общем ящике. Конструкция резисторов зависит от их назначения и номинальной рассеиваемой мощности. В качестве материала для резисторов используют сплавы высокого удельного сопротивления: фехраль, нихром, константан.

Резисторы характеризуются следующими основными параметрами: сопротивлением R , Ом; номинальным током $I_{\text{ном}}$ (А) при различных ПВ (5; 12,5; 20 и 40%) или номинальной рассеиваемой мощностью $P_{\text{ном}}$ (Вт), которая определяется допустимой температурой нагрева активного материала, контактных соединений и изоляторов. Для активных материалов допустимые превышения температуры над температурой окружающей среды при ПВ=100% следующие: фехраль, нихром — 350°C, константан — 250°C.

Максимальное превышение температуры τ_y активного материала в установившемся режиме при протекании тока I_y можно определить по формуле

$$\tau_y = P/A = I_y^2 R/A, \quad (1.22)$$

где A — теплоотдача, т. е. количество теплоты, отдаваемой с поверхности проводника в 1 с при превышении его температуры над температурой окружающей среды на 1°C.

В переходном процессе и равномерном во времени нагреве превышение температуры резистора изменяется по экспоненциальному закону:

$$\tau = \tau_y (1 - e^{-t/T}) + \tau_0 e^{-t/T}, \quad (1.23)$$

где T — постоянная времени нагрева (с), численно равная времени, в течение которого тело нагревается до температуры τ_y при отсутствии отдачи теплоты окружающей среде, т. е.

$$T = C/A, \quad (1.24)$$

где C — теплоемкость тела.

Значения тока кратковременного режима $I_{\text{кр}}$, вызывающего за время t превышение температуры, равное τ_y , и тока повторно-кратковременного режима I_ϵ , вызывающего при относительной продолжительности включения ϵ и времени цикла $t_{\text{ц}} = 60$ с превышение температуры, равное τ_y , можно рассчитать по формулам:

$$I_{\text{кр}} = I_y \sqrt{\frac{1}{1 - e^{-t/T}}}; \quad (1.25)$$

$$I_\epsilon = I_y \sqrt{\frac{1 - e^{-60/T}}{1 - e^{-60\epsilon/T}}}. \quad (1.26)$$

Значения коэффициентов перегрузки резисторов по току для кратковременных $k_t = I_{\text{кр}}/I_y$ и повторно-кратковременных $\epsilon = I_\epsilon/I_y$ (время цикла 1 мин) режимов работы в зависимости от постоянной времени нагрева даны на рис. 1.27. Для ленточных фехралевых элементов резисторов на номинальный ток 24...214 А значения

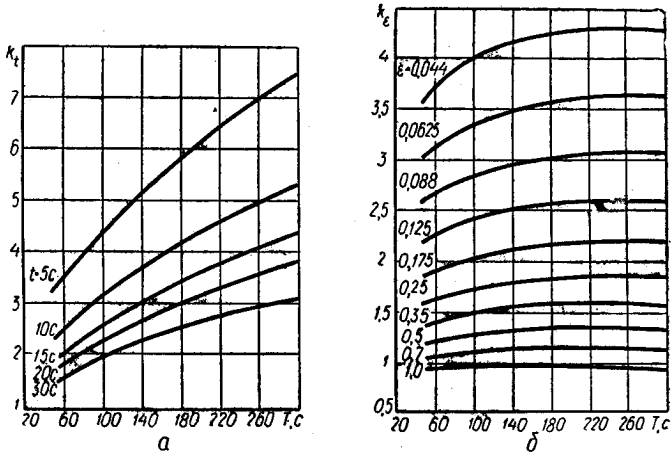


Рис. 1.27. Коэффициенты перегрузки резисторов по току при кратковременных (а) и повторно-кратковременном (б) режимах работы

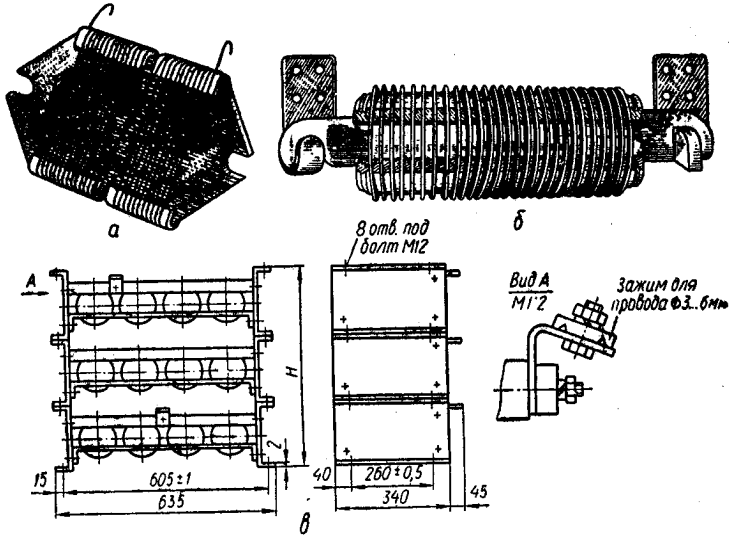


Рис. 1.28. Проволочный (а), ленточный (б) резисторные элементы и комплект ящиков резисторов типа НФЗА (в)

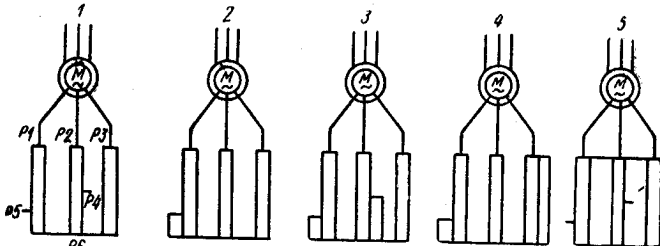


Рис. 1.29. Несимметричное включение пусковых ступеней сопротивлений в цепи ротора асинхронного трехфазного двигателя

постоянной времени находятся в пределах 150 ... 500 с; для константановых элементов на номинальный длительный ток 1,7 ... 19 А — в пределах 70 ... 280 с [18].

Резисторы серий ПЭ (проволочные эмалированные), ПЭВ (В — влагостойкие) и ПЭВР (Р — регулируемые) выпускаются на номинальную мощность 7,5 ... 150 Вт и имеют сопротивление 1 ... 56 000 Ом. Конструктивно они представляют собой нихромовую проволоку, навитую на фарфоровый цилиндр и покрытую нагревостойкой стекловидной эмалью.

Резисторы *проволочные* мощностью 250 ... 400 Вт (рис. 1.28, а) изготавливаются из константановой, фехралевой или нихромовой проволоки, навитой на фарфоровые изоляторы-наездники, которые надеты на плоский металлический держатель. Такие резисторы могут иметь сопротивление от 0,7 до 260 Ом. Ящики резисторные серии ЯСЗ содержат до 11 проволочных элементов.

Резисторы *ленточные* мощностью 850 ... 1000 Вт (рис. 1.28, б) выполняются из фехралевой или константановой ленты, намотанной на ребро в виде спирали. Лента надета на фарфоровый изолятор, опирающийся на металлический держатель. Резисторы собирают в комплектные устройства — ящики. Элементы в ящике устанавливаются на индивидуальных фарфоровых изоляторах (вторая ступень изоляции). Ящики серии НФ1А имеют от четырех до восьми выводов от ступеней с примерно одинаковыми сопротивлениями. Применяют комплекты ящиков (2—3 ящика), образующие общую схему (рис. 1.28, в). Необходимые значения сопротивлений получаются путем последовательного, параллельного и последовательно-параллельного соединения ступеней стандартных ящиков резисторов.

Для увеличения числа пусковых ступеней сопротивлений в цепи ротора асинхронного трехфазного двигателя при сравнительно малом числе выводов резисторы включают несимметрично (рис. 1.29). В первый момент пуска (ступень I) сопротивление резисторов во всех трех фазах ротора максимальное. Чтобы обеспечить пять пусковых ступеней, требуется всего шесть выводов от резисторов (R_1, \dots, R_6). При симметричном включении сопротивлений в фазах ротора число выводов потребовалось бы увеличить до 16 при соответствующем увеличении количества переключающих контактов.

1.9. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОНТАКТОРЫ И ПУСКАТЕЛИ

Электромагнитным контактором называется коммутационный аппарат, приводимый в действие с помощью электромагнита и предназначенный для частых (до 2000 в час) включений и отключений электрических цепей. Различают контакторы постоянного тока (одно- и двухполюсные) и переменного тока (двух- и пятиполюсные). Контактторы выполняются для эксплуатации в условиях умеренного (У), тропического (Т) и холодного (ХЛ)

климата. Устройство однополюсного электромагнитного контактора схематично показано на рис. 1.30.

На изоляционном основании 1 смонтирована контактная система, состоящая из неподвижного 5 и подвижного 4 контактов, осуществляющих замыкание и размыкание силовой цепи AB под действием электромагнита. Подвижный контакт 4 связан с якорем 6 электромагнита, вращающимся на оси 9. При подаче питания на катушку электромагнита 7 (цепь ab) якорь притягивается и контакт замыкается, преодолевая усилия пружин 8 и 11. Если питание с электромагнита снять, то якорь под действием собственной массы и усилия отключающей пружины 11 возвратится в исходное положение. Одновременно с главными переключаются вспомогательные контакты 10, предназначенные для коммутации цепей управления и сигнализации. Возникающая при расхождении главных контактов электрическая дуга перемещается под действием электродинамических сил (катушка магнитного дутья 2 включена последовательно с главными контактами) и гасится в дугогасительной камере 3. Вариант реальной конструкции контактов пальцевого типа и их кинематика показаны на рис. 1.31.

Главный подвижный контакт имеет дополнительную (вторую) ось вращения O' , для поворота вокруг которой требуется сжать контактную пружину $KП$. Назначение последней — улучшить работу контактов и увеличить силу их нажатия. При замыкании контактора главные контакты приходят в соприкосновение верхними кромками B_n и B_p , затем палец подвижного контакта постепенно перекачивается по пальцу неподвижного и в конце замыкания оба контакта соприкасаются своими нижними кромками A_n и A_p . Размыкание контактов происходит в обратной последовательности, в результате чего разрыв дуги осуществляется верхней, нерабочей частью контактов. Перекачивание контактных элементов под давлением при замыкании и размыкании обеспечивает самоочищение контактных поверхностей.

Раствором, или зазором, контактов называется кратчайшее расстояние между их поверхностями в разомкнутом положении, *провалом контакта* — расстояние, на которое смещается место касания контактов при сжатии контактной пружины.

Быстродействие электромагнитного контактора характеризуют следующие величины:

а) *собственное время срабатывания (втягивания)* — время от момента подачи напряжения на втягивающую катушку до момента касания главных контактов;

б) *собственное время отпускания $t_{c.o}$* — время от момента прекращения питания втягивающей катушки до момента расхождения главных контактов;

в) *полное время отключения* (до момента полного исчезновения тока) — сумма собственного времени отпускания и времени гашения дуги t_r , т. е.

$$t_o = t_{c.o} + t_r. \quad (1.27)$$

Рис. 1.30. Устройство однополюсного электромагнитного контактора

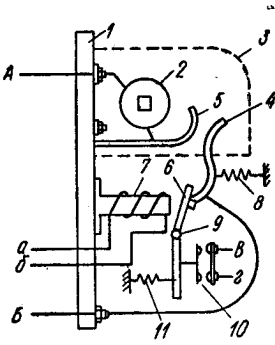


Рис. 1.31. Процесс включения пальцевых контактов:

a — разомкнутое положение; *б* — начальное касание; *в* — конечное касание (включенное положение); O, O' — оси вращения якоря и рычага подвижного контакта соответственно; O_H — положение оси рычага в момент начального касания контактов; O_K — то же, в момент конечного нажатия контактов

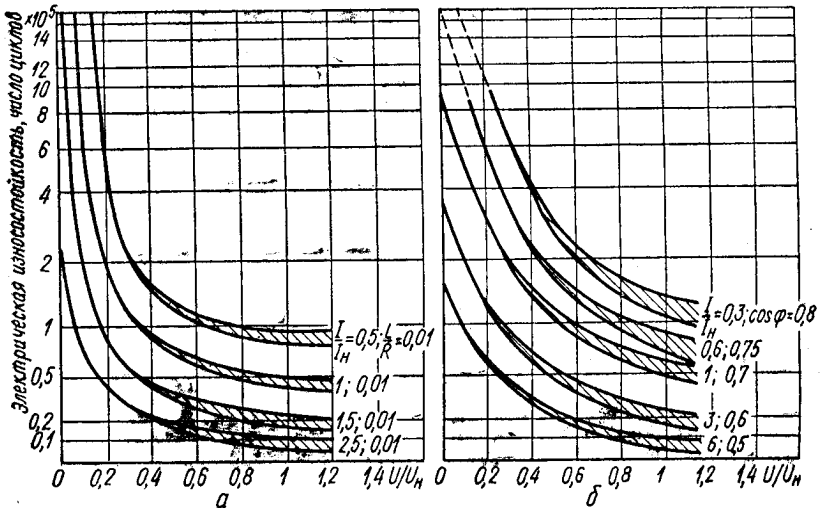
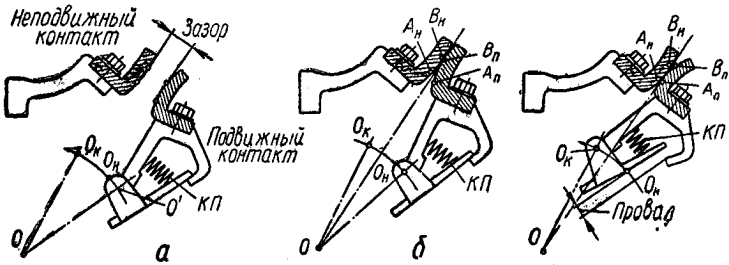


Рис. 1.32. Кривые электрической износостойкости контакторов постоянного (а) и переменного (б) тока

Механическая износостойкость контактора определяется числом циклов его включений — отключений ($B-O$) при обесточенной главной цепи, электрическая износостойкость — числом циклов $B-O$ контактора при нормальных условиях эксплуатации до смены износившихся контактов. Износ контактов зависит от их материала, числа размыканий, рода и силы размыкаемого тока, а также от параметров отключаемой нагрузки. В случае индуктивной нагрузки условия дугогашения ухудшаются, а износ контактов увеличивается (при одинаковых значениях силы тока и напряжения в отключаемой цепи). С повышением напряжения износ контактов растет. Кривые электрической износостойкости электромагнитных контактов показаны на рис. 1.32. Опыт показывает, что в интервале $20 \dots 2000$ включений в час износ контактов практически не зависит от частоты включений. Рассмотрим кратко основные типы электромагнитных контакторов, выпускаемых промышленностью.

Контакторы постоянного тока серии КТВ-600 (рис. 1.33) предназначены для коммутации главных цепей электроприводов постоянного тока напряжением $220 \dots 600$ В. Эти контакторы выпускаются пяти величин на номинальный ток $63 \dots 630$ А и имеют высокий уровень механической износостойкости — до $2 \cdot 10^7$ циклов $B-O$. Электрическая износостойкость их в режиме нормальных коммутаций при отключении номинального тока достигает 10^6 циклов $B-O$.

Для коммутирования электрических цепей постоянного тока напряжением до 220 В применяются также более легкие контакторы серии КПД100Е, которые выпускаются на номинальный ток $25 \dots 250$ А. Износостойкость этих контакторов ниже, чем контакторов серии КТВ-600.

Вспомогательные контакты контакторов постоянного тока при напряжении 220 В рассчитаны на ток коммутации $0,2 \dots 1$ А. Собственное время втягивания таких контакторов составляет $0,1 \dots 0,37$ с, отпускания — $0,07 \dots 0,23$ с.

Контакторы переменного тока серий КТ и КТП служат для коммутации главных цепей электроприводов переменного тока напряжением 380 В. Контакторы серии КТ с втягивающими катушками переменного тока выпускаются на ток $80 \dots 1000$ А, а серии КТП с втягивающими катушками постоянного тока — на ток $80 \dots 630$ А. Магнитная система переменного тока (рис. 1.34, а) выполняется с шихтованным магнитопроводом. Для уменьшения вибрации якоря, обусловленной тем, что при переменном токе тяговое усилие становится пульсирующим, часть сердечника контактора охватывается медным короткозамкнутым витком. Магнитный поток катушки Φ в торце сердечника делится на два потока: Φ_1 и Φ_2 . В момент перехода через нуль основного потока в короткозамкнутом витке индуктируется максимальная э. д. с. и проходит ток, который создает дополнительный магнитный поток $\Phi_{к.в.}$, сдвинутый по фазе относительно основного потока. Часть магнитного потока $\Phi_{к.в.}$ замыкается через сердечник и

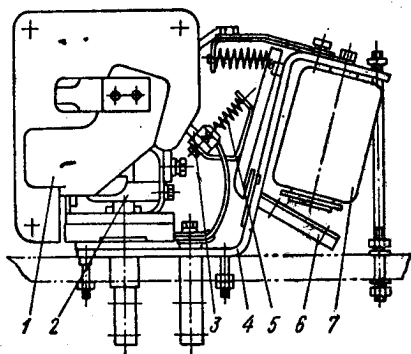


Рис. 1.33. Контактёр постоянного тока типа КПВ-603:

1 — дугогасительная камера; 2 — неподвижный контакт; 3 — контактодержатель подвижного контакта; 4 — скоба; 5 — якорь электромагнита; 6 — контактная пружина; 7 — катушка

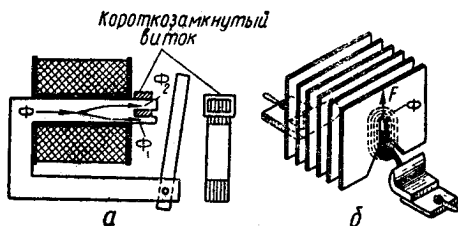
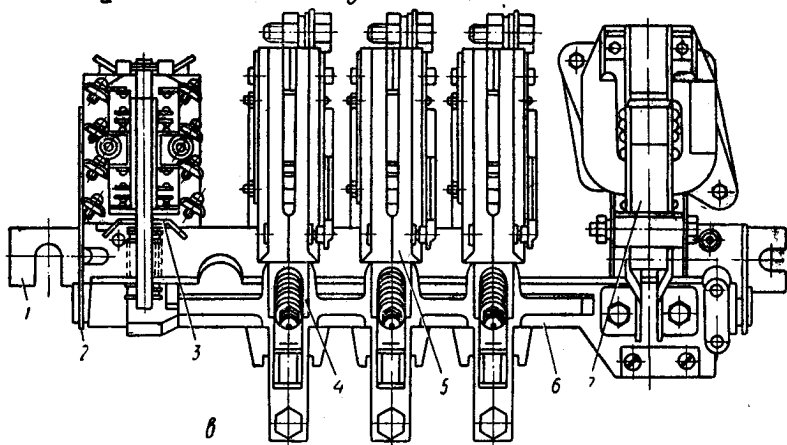


Рис. 1.34. Схема магнитной системы (а), дугогасительная решетка (б) и общий вид контактора переменного тока типа КТ-6013 (в)



якорь и суммируется с основным потоком. Вследствие этого создаваемые потоками Φ_1 и Φ_2 тяговые усилия проходят через нуль в разные моменты времени и суммарное усилие, действующее на якорь в любой момент времени, не равно нулю.

Особенностью магнитной системы переменного тока является также и то, что сопротивление включающей катушки зависит от ее индуктивности, которая в свою очередь обратно пропорциональна воздушному зазору магнитопровода. Поэтому в начале включения контактора, когда зазор максимальный, сила тока, проходящего через катушку, в несколько раз больше рабочего

тока при притянutom якорe. Большой пусковой ток катушки вызывает повышенный нагрев ее и является причиной снижения допустимой частоты включений.

Для гашения дуги в контакторах переменного тока используется электромагнитное дутье и разделение дуги на ряд коротких дуг в металлической решетке (рис. 1.34, б). При расхождении контактов электрическая дуга под действием силы F , обусловленной смещением магнитного потока дуги Φ или воздействием катушки магнитного дутья, перебрасывается на металлические пластины и делится на ряд коротких дуг. В каждом дуговом промежутке происходит деионизация, особенно интенсивная в околэлектродных областях, и дуга быстро гаснет.

Общий вид контактора типа КТ-6013 (в его обозначении указаны: серия КТ-6000, величина 1, число полюсов 3) показан на рис. 1.34, в. Все исполнения контакторов основаны на одних и тех же конструктивных принципах. Контактная система смонтирована на металлической рейке 1. Вал контактора 6 поворачивается в двух опорах 2 под действием электромагнита 7. На валу установлены контактные рычаги 4 с подвижными контактами пальцевого типа. Главные контакты помещены в дугогасительные камеры 5. Узел вспомогательных контактов 3 расположен на стороне, противоположной электромагниту.

Контакторы серий КТ64 и КТП64, являясь модификацией контакторов серий КТ-6000 и КТП-6000, имеют дополнительные полупроводниковые блоки бездуговой коммутации, включаемые параллельно главному контактом (рис. 1.35). Полупроводниковый блок выполнен на двух тиристорах $T1$ и $T2$, которые включены встречно-параллельно и управляются с помощью сигналов, поступающих от трансформатора тока $ТТ$ и блоков управления $БУ1$, $БУ2$. Когда главные контакты $ГК$ замкнуты, тиристоры зашунтированы ими. При размыкании контактов от трансформатора тока поступает импульс на отпирание тиристоров, и они шунтируют воздушный контактный промежуток. При протекании тока

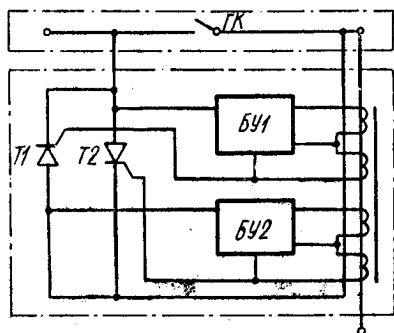


Рис. 1.35. Электрическая схема блока бездуговой коммутации одной фазы контакторов серий КТ64 и КТП64

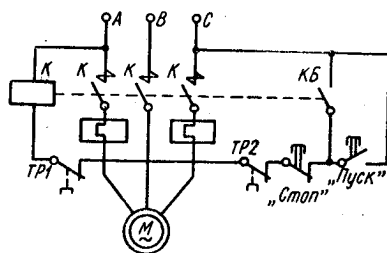


Рис. 1.36. Принципиальная схема не-реверсивного магнитного пускателя с тепловыми реле

через тиристоры в первичных обмотках $ТТ$ токи компенсируются и отпирающие импульсы не подаются. После полного размыкания контактов и прохождения тока через нуль тиристоры запираются.

Дуга на главных контактах практически не возникает, что повышает их коммутационную износостойкость в 5...10 раз и сводит к минимуму затраты на эксплуатацию. Если электрическая износостойкость контакторов серий КТ-6000 и КТП-6000 составляет $0,5 \dots 1 \cdot 10^6$ циклов В—О (верхний предел относится к двух- и трехполюсным, а нижний — к четырех-пятиполюсным), то у контакторов серий КТ64 и КТП64 этот показатель достигает $5 \cdot 10^6$ циклов и приближается к показателю их механической износостойкости. Собственное время срабатывания контакторов переменного тока (втягивания 0,037...0,06 с; отпускания 0,02...0,025 с) значительно меньше, чем контакторов постоянного тока.

Магнитные пускатели серий ПМЕ (на ток 3...25 А) и ПАЕ (на ток 40...146 А) выпускаются в открытом, защищенном и пылебрызгонепроницаемом исполнениях и служат для частых коммутаций и защиты асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором напряжением до 500 В. Пускатель включает в себя один или два (реверсивные) трехполюсные контакторы и тепловые реле защиты (пускатели некоторых исполнений не комплектуются тепловыми реле).

Контакторы пускателей на номинальный ток до 25 А включительно имеют прямоходовую Ш-образную магнитную систему и мостиковые главные контакты без специального устройства дугогашения. В пускателях на ток 40 А и выше устанавливаются контакторы поворотного типа (рис. 1.34), дугогашение используется с применением деионной металлической решетки. Втягивающие катушки пускателей выполняются на номинальное напряжение 24, 36, 48, 110, 127, 220, 380 и 500 В переменного тока. Показатели механической и электрической износостойкости пускателей для нормальных режимов коммутации такие же, как и у четырехполюсных контакторов.

Принципиальная схема нереверсивного магнитного пускателя с тепловыми реле показана на рис. 1.36. При нажатии кнопки «Пуск» питание в катушку контактора K подается через контакты тепловых реле $ТР1$, $ТР2$ и кнопку «Стоп». Контактор срабатывает, замыкая главные контакты K и блокировочный контакт $КБ$, которым шунтируется кнопка «Пуск». При перегрузке электродвигателя срабатывает тепловое реле $ТР1$ или $ТР2$, их контакты в цепи катушки K размыкаются и двигатель M отключается. Цепь катушки контактора размыкается также при нажатии кнопки «Стоп».

Выбор контакторов и пускателей для использования в качестве оперативных коммутационных аппаратов производится по условиям обеспечения необходимых коммутационной способности, теплового режима и уровня электрической износостойкости.

Для электроприводов продолжительного режима работы с редкими включениями контакторы и пускатели выбираются по номинальному току с проверкой их на номинальный ток включения.

Условия выбора:

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{н.дв}}; \quad (1.28)$$

$$I_{\text{вкл}} \geq I_{\text{п.дв}}, \quad (1.29)$$

где $I_{\text{н.дв}}$ и $I_{\text{п.дв}}$ — номинальный и пусковой токи двигателя; $I_{\text{ном}}$ — номинальный длительный ток пускателя; $I_{\text{вкл}}$ — номинальный ток включения пускателя.

Для электроприводов с легкими режимами работы, работающих эпизодически в кратковременном режиме длительностью не более 15 мин, выбор контакторов можно производить только по пусковому току электродвигателя [условие (1.29)]. В режиме редких коммутаций $I_{\text{вкл}} = 10I_{\text{ном}}$, в режиме нормальных коммутаций $I_{\text{вкл}} = 6I_{\text{ном}}$. Номинальный ток отключения контакторов и пускателей в режиме нормальных коммутаций $I_{\text{откл}} = I_{\text{ном}}$, в режиме редких коммутаций $I_{\text{откл}} = 8I_{\text{ном}}$.

Для электроприводов, работающих в повторно-кратковременном режиме с большой частотой включений, производится дополнительная проверка на обеспечение необходимого уровня износоустойчивости по кривым, изображенным на рис. 1.32.

1.10. РЕЛЕ УПРАВЛЕНИЯ

Реле — это устройства, автоматически осуществляющие скачкообразные изменения (переключения) в цепях управления или непосредственно воздействующие на механизмы под влиянием каких-либо факторов, достигших заданного значения. В схемах автоматического управления электроприводами применяют реле тока, напряжения, времени и другие, а также разнообразные датчики технологических величин (последние в данном параграфе не рассматриваются).

По характеру реагирования на изменение контролируемой величины различают реле: *максимальные*, срабатывающие при достижении верхнего предела уставки контролируемой величины; *минимальные*, реагирующие на уменьшение контролируемой величины ниже определенного предела; *дифференциальные*, реагирующие на разность значений ряда контролируемых величин. По способу включения реле бывают: *первичные*, включающиеся непосредственно в контролируемую цепь; *вторичные*, получающие сигнал через индуктивную, емкостную или другую связь от датчиков, установленных в контролируемой цепи; *промежуточные*. Реле, воздействующее непосредственно на цепи управления контролируемого объекта, называется *исполнительным*. Наиболее распространены электромагнитные реле с открытыми контактами. В последнее время получают применение реле с герметизированными магнитоуправляемыми контактами (герконы) и бесконтактные реле. По климатическому выполнению реле выпуска-

ются для условий умеренного (У), тропического (Т) и холодного (ХЛ) климата.

Основными параметрами реле являются: величина срабатывания $X_{\text{ср}}$ и пределы ее регулирования, величина отпускания $X_{\text{отп}}$ и коэффициент возврата $K_{\text{в}} = X_{\text{отп}}/X_{\text{ср}}$. Рассмотрим основные особенности и параметры некоторых типов реле, применяемых в схемах управления электроприводом.

Электромагнитные реле постоянного тока серии РЭВ используются в качестве реле времени, тока, напряжения и промежуточных. Устройство реле данной серии показано на рис. 1.37. Катушка 1 этого реле включается в электрическую цепь непосредственно (первичное реле). Реле может иметь два—четыре размыкающихся 6 и замыкающихся 7 контакта и предназначено для частых операций В—О. Номинальное напряжение в цепи контактов 110...380 В, номинальный ток — 10 А.

Реле времени, напряжения и промежуточные изготавливаются на напряжение 12, 24, 48, 110 и 220 В. Пределы регулирования напряжения втягивания для реле минимального напряжения составляют 25...80% номинального. Реле контроля тока выпускаются как реле минимального тока с катушками на номинальный ток 0,6...100 А. Коэффициент возврата этих реле не нормируется. Собственное время срабатывания реле напряжения, тока и промежуточных при втягивании — не более 0,2 с, при отпадании — не более 0,25 с. Реле времени выполняется с выдержкой времени, получаемой при размыкании цепи втягивающей катушки или шунтировании (закорачивании) катушки при ее отключении от источника. Пределы регулирования выдержек времени реле серии РЭВ-80 при отключении катушки составляют 0,25...3,5 с, при шунтировании — 0,4...3,8 с. Выдержка времени обеспечивается за счет наведения тока в алюминиевых или медных съемных демпферах, надеваемых на сердечник 2 реле, или в алюминиевом основании 3 (реле типов РЭВ811, РЭВ815, РЭВ81).

При уменьшении тока в катушке реле индуктированный в демпфере ток создает магнитный поток $\Phi_{\text{д}}$, который в соответствии с законом Ленца препятствует причине, его вызывающей, и суммируется с основным магнитным потоком Φ_0 . Результирующий магнитный поток

$$\Phi = \Phi_0 + \Phi_{\text{д}}$$

будет уменьшаться (рис. 1.38) от начального значения $\Phi_{\text{нач}}$ до конечного $\Phi_{\text{ост}}$ более медленно. Регулирование скорости спадания магнитного потока можно производить изменением толщины прокладки из немагнитного материала между якорем 5 и сердечником 2 (см. рис. 1.37). Точное регулирование времени t отпадения якоря производится изменением натяжения отключающей пружины 4 реле (изменяется поток $\Phi_{\text{отп}}$, при котором происходит отпуск якоря).

Механическая износостойкость реле серий РЭВ и РЭВ-80 составляет $10 \cdot 10^6$ циклов В—О при максимальной частоте вклю-

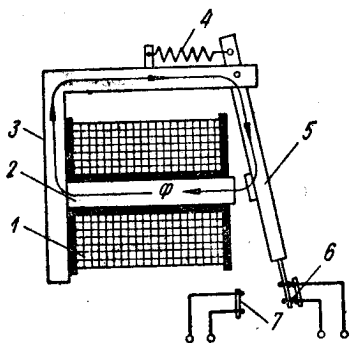


Рис. 1.37. Устройство электромагнитного реле управления серии РЭВ

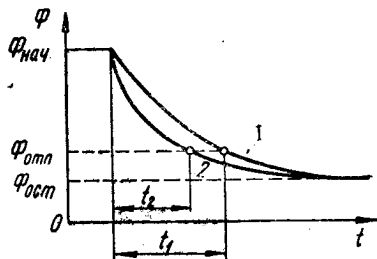


Рис. 1.38. Кривые спада магнитного потока в электромагнитном реле времени: 1 — при отключении катушки; 2 — то же при более толстой прокладке между якорем и сердечником

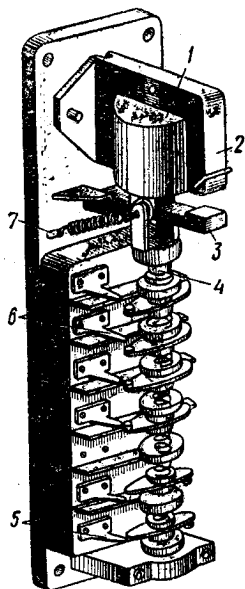


Рис. 1.39. Промежуточное реле переменного тока типа ЭП-41В-06:

1 — катушка; 2 — сердечник; 3 — ярлык; 4 — подвижный стержень; 5 — размыкающий контакт; 6 — замыкающий контакт; 7 — пружина

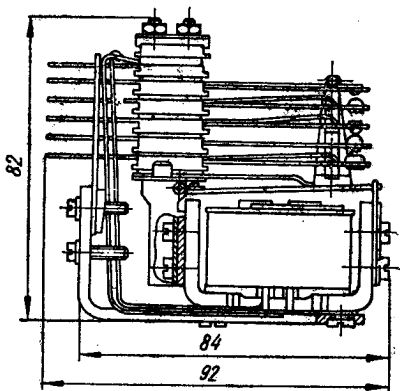


Рис. 1.40. Малогабаритное промежуточное реле серии МКУ-48

чений 1200 в час, электрическая износостойкость в режиме нормальных коммутаций — $1 \cdot 10^6$ циклов В—О.

Промежуточные реле переменного тока серии ЭП-41В (рис. 1.39) предназначены для усиления и размножения сигналов управления, когда возникает необходимость одновременного включения или отключения нескольких цепей (до шести). Катушки реле выполняются на напряжение 24, 36, 127, 220, 380 и 500 В и потребляют мощность не более 50 В·А. Контакты

мостикового типа обеспечивают отключение индуктивной нагрузки с током до 8 А при напряжении 220 В.

Малогобаритные промежуточные реле серии МКУ-48 (рис. 1.40) применяются в качестве исполнительных промежуточных реле автоматических устройств. Реле этой серии выпускаются с втягивающими катушками переменного и постоянного тока (потребляемая ими мощность составляет соответственно 7,5 В·А и 3 Вт). Разрывная мощность контактов — не более 50 Вт в индуктивной цепи постоянного тока и 500 В·А в цепи переменного тока. Коэффициент возврата реле равен 0,4...0,5 на постоянном токе и 0,5...0,55 на переменном.

Электродвигательные реле времени серий ВС-10 и Е-52 предназначены для автоматического включения и отключения цепей управления с большими выдержками времени или по заданной программе. Реле серии В-10 выпускаются с тремя и шестью переключающими контактами, каждый из которых допускает независимую регулировку установки времени от 2 с до 24 ч. Реле серии Е-52 имеет два замыкающих и один размыкающий контакты с регулируемой выдержкой времени 1...60 с. В схеме реле данной серии (рис. 1.41) имеется синхронный реактивный микродвигатель M мощностью 12 В·А, который при включении реле начинает вращаться; одновременно возбуждается электромагнит $L_{сц}$, сцепляющий муфту, которая соединяет вал двигателя с валом редуктора. При этом вращение от двигателя передается на главный валик реле, с которым связаны упоры, воздействующие на контакты. После срабатывания контактов реле 1, ..., 3 размыкается вспомогательный контакт в цепи двигателя. Последний останавливается и движение валика реле прекращается.

Для отключения реле размыкают цепь электромагнита сцепления $L_{сц}$. При этом муфта расцепляет вал редуктора реле от вала двигателя и возвратная пружина возвращает все контакты в исходное положение, показанное на схеме. Время возврата — 1 с. Допустимый постоянный ток, коммутируемый контактами, составляет 0,5А; включаемый переменный ток равен 4А при напряжении 220 В. Износостойкость электродвигательных реле времени ($1 \cdot 10^5$ циклов В—О) сравнительно мала, но они не предназначены для работы в режиме частых переключений.

Реле с магнитоуправляемыми герметизированными контактами (рис. 1.42) применяются в качестве реле тока, напряжения и промежуточных. Основные элементы реле: катушка 1 и геркон 2. Принцип действия геркона описан раньше (см. рис. 1.26) при рассмотрении устройства путевых выключателей. Мощность срабатывания таких реле составляет 0,05...2 Вт, коэффициент возврата — 0,25...0,5. Ток, коммутируемый контактами геркона нормальной конструкции, до 1 А, однако имеются разработки герконов для коммутации тока до 6 А при напряжении 380 В.

Миниатюрные герконовые реле с одним магнитоуправляемым контактом выпускаются на напряжение 6, 12, 24, 48 и 125 В; мощность срабатывания их равна 0,02...0,15 Вт, а коммутируемая мощность — 3...4 Вт (ток 0,1...0,125 А). Достоинством этих реле являются простота конструкции, малое время срабатывания (0,5...2 мс) и большой срок службы контактов, износоустойчивость которых на два порядка выше, чем реле с контактами, работающими в воздухе. Основной их недостаток — сравнительно малая коммутационная способность контактов.

Полупроводниковые реле времени используются в автоматизированном электроприводе с большим числом включений в час. Принцип действия их основан на интегрирующем действии RC-цепи. Упрощенная принципиальная схема одного из вариантов транзисторного реле времени показана на рис. 1.43.

При замыкании управляющих контактов $УК1$, $УК2$ и размыкании контакта $УК3$ на схему подается напряжение постоянного

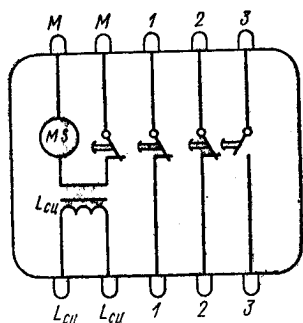


Рис. 1.41. Схема электродвигательного реле времени серии Е-52

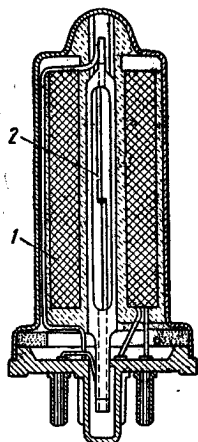


Рис. 1.42. Реле с магнитоуправляемым герметизированным контактом (герконом)

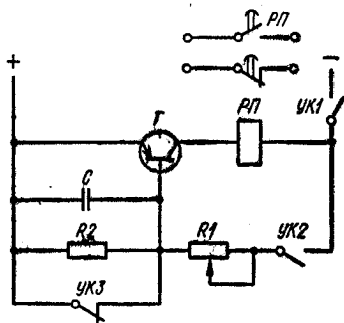


Рис. 1.43. Упрощенная принципиальная схема транзисторного реле времени

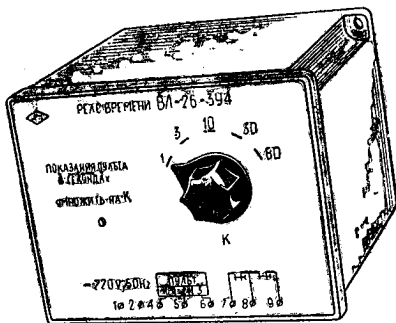


Рис. 1.44. Полупроводниковое реле времени серии ВЛ

тока. В начальный момент конденсатор C не заряжен, база транзистора T имеет положительный потенциал и в цепи коллектора тока нет. Конденсатор C начинает заряжаться через резистор $R1$. Скорость нарастания напряжения на обкладках конденсатора зависит от его емкости и сопротивления резистора $R1$. При некотором значении этого напряжения транзистор отпирается и реле $РП$ срабатывает. Выдержку времени от момента замыкания управляющих контактов $УК1, УК2$ до момента переключения контактов исполнительного реле $РП$ можно регулировать, изменяя сопротивление резистора $R1$. При размыкании контактов $УК1, УК2$ и замыкании контакта $УК3$ конденсатор C мгновенно разряжается и транзистор запирается. Реле $РП$ отключается и схема приходит в исходное положение.

Современные полупроводниковые реле времени серии ВЛ (рис. 1.44) выпускаются в нескольких модификациях с контактными исполнительными реле или с бесконтактным выходным ключом (типы ВЛ-28 и ВЛ-35). Диапазон регулируемых выдержек времени реле данной серии составляет $0,1 \dots 600$ с, потребляемая мощность — $3 \dots 20$ В·А, напряжение питания — $100 \dots 220$ В постоянного тока и $110 \dots 220$ В переменного тока частотой 50 и 60 Гц. Номинальная коммутируемая мощность постоянного тока (при $T=0,01$ с) равна 2,5 Вт для реле типов ВЛ-28 и ВЛ-35, для реле остальных типов — 25 Вт. Износостойкость (кроме ВЛ-28 и ВЛ-35): механическая — $6,3 \dots 10 \cdot 10^6$ циклов В—О, электрическая — $1,6 \dots 2,5 \cdot 10^6$ циклов. Для реле времени типов ВЛ-28 и ВЛ-35 (с бесконтактным выходным ключом) износостойкость не ограничена.

1.11. БЕСКОНТАКТНЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Логические элементы — это устройства дискретного действия, реализующие элементарные логические функции и предназначенные для построения более сложных систем управления. Последние могут быть созданы как на релейно-контактных, так и на бесконтактных логических элементах, входные и выходные сигналы которых имеют два рабочих значения: логический нуль или единицу. В релейно-контактных системах значение 0 соответствует разомкнутому контакту (обесточенной обмотке), а значение 1 — замкнутому контакту (возбужденной обмотке). В бесконтактных элементах значение 0 присваивается низкому уровню сигнала (напряжения, тока и т. п.), а значение 1 — высокому.

Бесконтактные элементы обладают более высоким быстродействием, их срок службы во много раз больше, чем релейно-контактных. Рассмотрим основные логические элементы и реализуемые ими функции, пользуясь рис. 1.45, где показаны графические изображения и релейно-контактные эквиваленты этих элементов.

Повторитель (рис. 1.45, а) — это логический элемент, который при подаче сигнала X на вход выдает выходной сиг-

нал Y , равный X , т. е. реализуется логическая функция $Y = X$.

В релейно-контактном эквиваленте действие повторителя адекватно включению реле Y управляющим контактом X , которое приводит к замыканию контакта Y .

Таблица истинности для повторителя имеет следующий вид:

$X Y$
0 0
1 1

Инвертор (элемент НЕ) (рис. 1.45, б) — это логический элемент, который при подаче сигнала X на вход выходного сигнала не выдает (он равен 0). Логическая функция в этом случае $Y = \bar{X}$, где черта означает операцию отрицания (инверсии).

Таблица истинности для инвертора имеет следующий вид:

$X Y$
0 1
1 0

Конъюнктор (элемент И) (рис. 1.45, в) — это логический элемент с двумя или более прямыми входами, выходной сигнал которого принимает значение 1 при наличии сигналов одновременно на всех входах. Элемент И реализует операцию логического умножения: $Y = X_1 X_2$.

Логическое произведение нескольких переменных равно 1 только тогда, когда все переменные равны 1. Таблица истинности для конъюнктора имеет следующий вид:

X_1	X_2	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Дизъюнктор (элемент ИЛИ) (рис. 1.45, г) — это логиче-

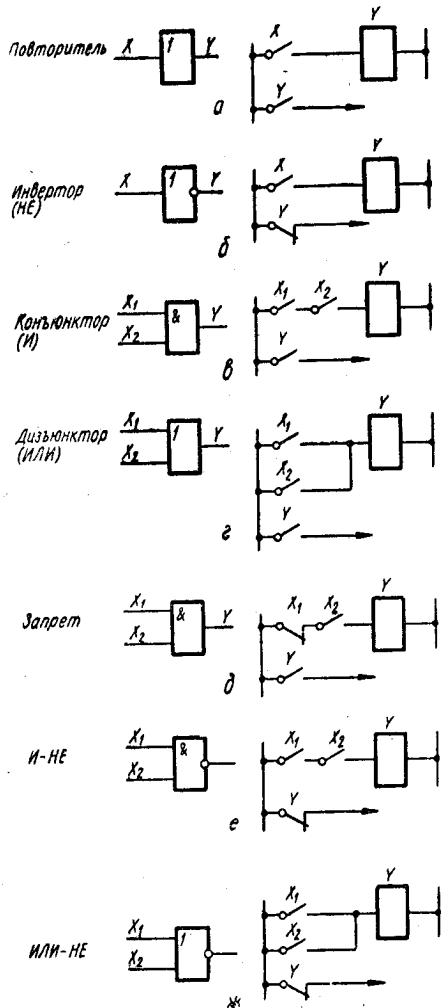


Рис. 1.45. Графические изображения и релейно-контактные эквиваленты бесконтактных логических элементов

ский элемент с двумя или более входами, выходной сигнал которого принимает значение 1 при наличии сигнала на одном из входов. Элемент ИЛИ реализует функцию логического сложения (дизъюнкцию): $Y = X_1 \vee X_2$.

Таблица истинности для дизъюнктора с двумя входами имеет следующий вид:

X_1	X_2	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Рассмотренные основные логические элементы могут входить в состав более сложных элементов, какими являются элементы ЗАПРЕТ, И — НЕ и ИЛИ — НЕ.

Логический элемент ЗАПРЕТ (рис. 1.45, д) реализует логическую функцию $Y = \bar{X}_1 X_2$. Этот элемент, который может быть представлен как комбинация повторителя и инвертора, при отсутствии сигнала X_1 на входе выходной сигнал выдается одновременно с поступлением сигнала X_2 на вход.

Логический элемент Шефнера (И — НЕ) (рис. 1.45, е) реализует функцию отрицания конъюнкции $Y = \overline{X_1 X_2}$.

Сигнал на его выходе отсутствует ($Y = 0$) только тогда, когда $X_1 = 1$ и $X_2 = 1$.

Логический элемент Пирса (ИЛИ — НЕ) (рис. 1.45, ж) реализует функцию отрицания дизъюнкции $Y = \overline{X_1 \vee X_2}$.

Сигнал на его выходе отсутствует ($Y = 0$), если есть сигнал хотя бы на одном из входов элемента.

Логические элементы Пирса и Шефнера являются универсальными: с их помощью в свою очередь можно реализовать функции элементов И и ИЛИ.

Кроме рассмотренных, применяются [32] также более сложные многофункциональные логические элементы: сумматоры; дешифраторы; элементы памяти; элементы, выполняющие физические преобразования сигналов (усилители, мультивибраторы, генераторы) и др.

Для автоматизации электропривода используется унифицированная система логических элементов «Логика», которая включает в себя выпускаемую в настоящее время серию диодно-транзисторных элементов «Логика-Т».

Серия элементов «Логика-Т» содержит набор логических элементов (7 типов), функциональные элементы (3 типа), элементы времени (4 типа) и усилители (5 типов).

Базовый элемент серии (рис. 1.46) представляет собой инвертор, построенный на транзисторе, работающем в ключевом режиме. Транзистор T включен по схеме с общим эмиттером. Напряжение питания коллекторной цепи подается на зажим — U_n . На базу транзистора через резистор $R_{см}$ поступает положительное

напряжение $+U_{CM}$, которое при нулевом входном сигнале запирает транзистор (режим отсечки). При этом, если считать, что обратный коллекторный ток равен нулю, на выходе схемы будет действовать напряжение $-U_{п}$ (логическая единица). Входной сигнал (напряжения отрицательной полярности $U_{вх}$), соответствующий логической единице, отпирает транзистор, напряжение на выходе схемы уменьшается до незначительного уровня (0,2... 0,5 В), соответствующего логическому нулю. Таким образом, базовый элемент выполняет логическую функцию инвертора и усиливает сигнал по мощности.

В качестве примера рассмотрим реальный логический элемент типа Т-101, который выпускается в комплектном модуле с выводами под проводной монтаж со штепсельным разъемом (рис. 1.47, а) или с выводами под печатный монтаж. Схема элемента (рис. 1.47, в) включает в себя два логических элемента ИЛИ — НЕ, один из которых допускает возможность увеличения количества входов (зажим 1). Условное обозначение элемента показано на рис. 1.47, б. Типы и назначение других элементов серии «Логика-Т», а также различные варианты реализации на их базе основных логических функций даны в [32].

Срок службы бесконтактных элементов не зависит от числа переключений и достигает $4 \cdot 10^4$ ч с вероятностью безотказной работы $p \geq 0,9$. Напряжение питания логических и функциональных элементов серии «Логика-Т» составляет 12 В, усилителей — 24 В. Мощность выходных цепей транзисторных логических элементов равна 100...150 мВт; поэтому для управления исполни-

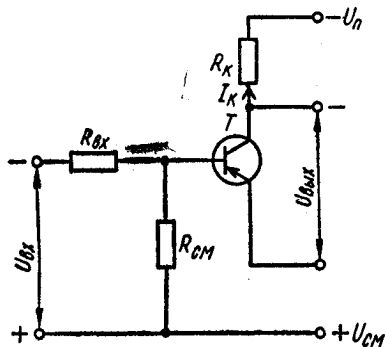
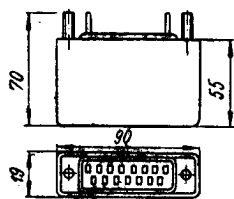


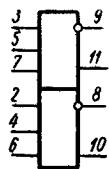
Рис. 1.46. Принципиальная схема базового элемента серии «Логика-Т»

Рис. 1.47. Логический элемент типа Т-101:

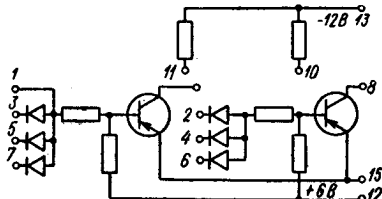
а — общий вид; б — условное обозначение; в — принципиальная схема



а



б



в

тельными устройствами применяют выходные усилители, которые входят в состав серии элементов «Логика-Т» и имеют выходную мощность 3...100 Вт. Системы управления с применением комплектов устройств данной серии рассматриваются в гл. 8.

В состав комплектных устройств серии «Логика-Т» (бесконтактные станции управления) входит несколько логических и функциональных элементов, усилителей и других аппаратов, электрически связанных между собой и объединенных общей конструкцией в виде блоков, устанавливаемых в кассетах и шкафах. В шкафу двустороннего обслуживания с размерами 700×600×2000 мм может размещаться до 900 элементов серии «Логика-Т» первого габарита.

Дальнейшее уменьшение габаритов систем бесконтактного управления электроприводом возможно на основе применения интегральных схем и микропроцессоров, позволяющих в объеме полупроводника менее кубического сантиметра реализовать многофункциональные логические элементы.

1.12. МАГНИТНЫЕ УСИЛИТЕЛИ

В автоматизированном электроприводе применяются МУ для непосредственного регулирования напряжения в главных цепях электродвигателей и для суммирования и усиления сигналов управления, а также для использования в качестве реле, датчиков тока и напряжения. По схеме включения МУ разделяются на *однополупериодные, однофазные двухполупериодные и трехфазные*. Реверсивные МУ включают в себя два—четыре нереверсивных одно- или трехфазных МУ.

По форме кривой выходного тока различают МУ с выходом на *переменном токе и с выходом на постоянном (пульсирующем) токе*. В электроприводе используются МУ без о. с. (дроссели насыщения) и с положительной о. с. по току, которая увеличивает коэффициент усиления МУ. Принцип действия МУ основан на использовании нелинейных свойств дросселя со стальным сердечником, момент насыщения которого регулируется изменением тока в обмотке управления (подмагничивания).

На рис. 1.48, а показана одна ветвь трехфазной схемы МУ без о. с., выполненого на дросселях $Dp1$ и $Dp2$. Рабочие обмотки дросселей с числом витков w_p , подключенные к сети переменного тока, соединены последовательно-встречно, а управляющие w_y — последовательно-согласно.

Когда управляющее напряжение U_y равно нулю, сердечники дросселей не насыщаются, их индуктивное сопротивление максимальное и в цепи нагрузки протекает минимальный ток $I_n = I_x$ (рис. 1.48 б). При увеличении тока I_y в обмотке управления сердечники дросселей насыщаются, их индуктивное сопротивление уменьшается, а ток в нагрузке растет. Таким образом, схема обладает свойством управления мощностью, передаваемой нагрузке от источника переменного тока.

Характеристики МУ (см. рис. 1.48, б) можно смещать относительно оси ординат посредством дополнительной обмотки управления (на рис. 1.48, а не показана) — обмотки смещения. Если м. д. с. смещения будет действовать согласно с м. д. с. основной обмотки управления, то характеристика МУ сдвинется относительно основной кривой 2 влево (кривая 1), а если будет действовать встречно, то сдвинется вправо (кривая 3).

МУ с несколькими обмотками управления может применяться как суммирующий, в котором нет гальванической связи между цепями управления. Недостаток МУ без о. с. — значительно больший по сравнению с другими МУ расход материалов при одинаковых мощностях и коэффициентах их усиления.

Однополупериодный МУ, схема которого показана на рис. 1.49, а, является составной частью более сложных схем одно- и трехфазных МУ с внутренней о. с. В цепи управления МУ включено достаточно большое сопротивление Z_y , исключающее возможность появления в этой цепи существенного переменного тока за счет трансформаторной связи между обмотками w_p и w_y . Здесь, в отличие от предыдущей схемы, в рабочую цепь МУ включен вентиль, благодаря которому ток нагрузки содержит постоянную составляющую, насыщающую сердечник в рабочий полупериод.

Если считать, что сердечник имеет прямоугольную петлю гистерезиса (рис. 1.49, б), то при отсутствии тока в обмотке управления работа сердечника будет происходить на верхнем горизонтальном участке с индукцией насыщения B_s (остаточная индукция $B_r = B_s$). При протекании в обмотке управления размагничивающего тока I_y во время управляющего полупериода (рис. 1.49, в), когда тока в рабочей обмотке нет, сердечник будет выведен из насыщения и размагничен до индукции B_y . В рабочий полупериод вентиль начинает проводить незначительный намагничивающий ток i_p , но пока сердечник не насытится, напряжение на активной нагрузке R_n близко к нулю. В момент насыщения сердечника при $\omega t = \alpha$ индуктивное сопротивление рабочей обмотки МУ обращается в нуль, так как $dB/dt = 0$, а напряжение, приложенное к нагрузке, и ток в рабочей цепи скачкообразно увеличиваются.

Момент насыщения (угол насыщения α), а следовательно, и среднее значение тока нагрузки определяется значением индукции B_y и соответствующим ему значением тока управления I_y . В следующие полупериоды процесс повторяется. Кривые изменения во времени напряжения питания U , индуктивности B и тока нагрузки i_n показаны на рис. 1.49, в.

Однофазный двухполупериодный МУ состоит из двух однополупериодных МУ с общими обмотками управления. На рис. 1.50 изображены схема и регулировочная характеристика однофазного МУ серии ТУМ (с тороидальными сердечниками). В таком усилителе имеется семь обмоток управления, которые могут быть использованы в качестве задающих обмоток, обмоток о. с. и обмоток смещения. МУ серии ТУМ выпускаются в нескольких модификациях на номинальный ток нагрузки 0,15...2,8 А.

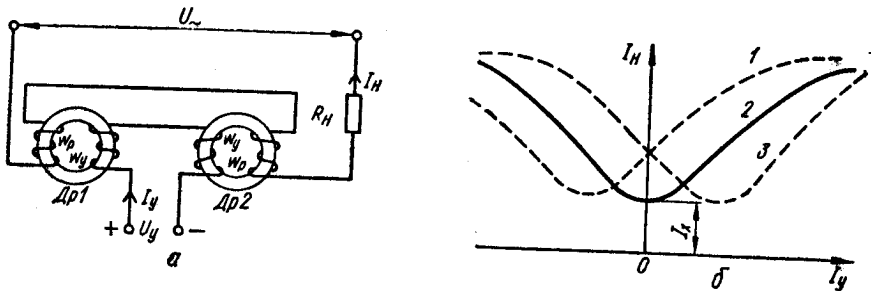


Рис. 1.48. Однофазная схема МУ без о. с. (а) и ее характеристики (б)

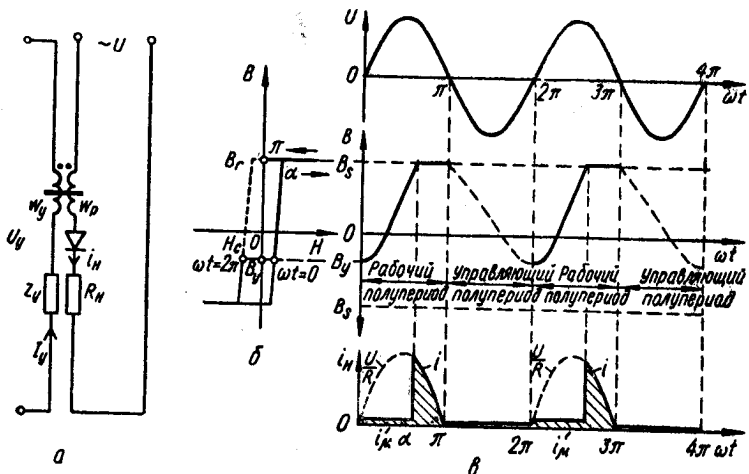


Рис. 1.49. Принципиальная схема (а), идеализированная характеристика намагничивания сердечника (б) и кривые изменения во времени напряжения питания U , индукции B и тока в нагрузке i_H (в) однополупериодного МУ

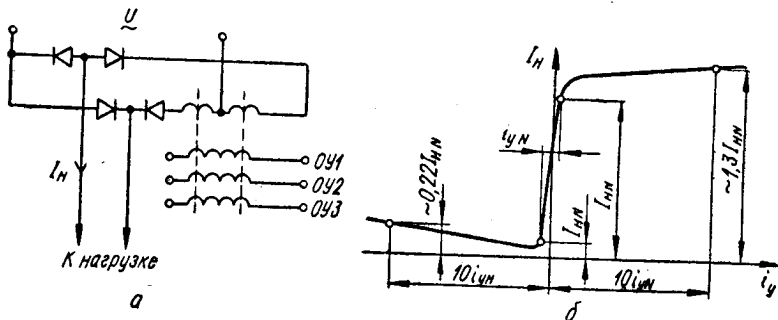


Рис. 1.50. Принципиальная схема (а) и регулировочная характеристика (б) однофазного двухполупериодного МУ серии ТУМ

В зависимости от выполняемой функции МУ его характеристики могут быть изменены за счет внешних положительных или отрицательных о. с.

Трехфазные МУ выполняются с выходом на переменном (рис. 1.51, а) и постоянном (рис. 1.51, б) токе. Они, в отличие от однофазных, обеспечивают симметричную нагрузку фаз питающей сети. МУ с выходом на постоянном токе можно рассматривать как трехфазный мостовой выпрямитель на неуправляемых вентилях с регулированием напряжения за счет явления задержки тока в вентилях, рассмотренного выше (см. рис. 1.49).

Кривые выпрямленного напряжения трехфазного МУ при различных углах насыщения (задержки) α , являющихся функцией тока управления МУ, показаны на рис. 1.52. При насыщенных сердечниках МУ ($\alpha=0$) среднее значение выходного напряжения U_d будет наибольшим (рис. 1.52, а), а коэффициент пульсаций — минимальным. При увеличении угла α (рис. 1.52, б, в) среднее значение напряжения на нагрузке, которая предполагается чисто активной, уменьшается.

В трехфазных МУ серии УМ-ЗП (на П-образных сердечниках) можно получить значительную выходную мощность (десятки киловольт-ампер).

Реверсивные МУ применяются для усиления и суммирования сигналов управления, когда требуется при изменении полярности сигнала управления изменять полярность на выходе усилителя. Такие МУ состоят из двух одно- или трехфазных МУ с выходом на постоянном токе. Схема однофазного реверсивного МУ, питающего обмотку возбуждения, и его статическая характеристика (зависимость тока нагрузки $I_{МУ}$ от напряжения управления) показаны на рис. 1.53.

Проектирование электроприводов с МУ имеет определенные особенности, обусловленные сложностью формы кривой выходного напряжения МУ. Значительные пульсации тока для некоторых нагрузок нежелательны. Сглаживающие устройства, уменьшающие пульсации тока, ухудшают энергетические показатели МУ и быстродействие системы. При больших мощностях желательнее использовать трехфазные схемы, в которых собственные потери МУ и относительный уровень переменных составляющих тока нагрузки меньше. К. п. д. неревверсивного трехфазного МУ достигает 80 ... 90 %. Следует иметь в виду, что к. п. д. реверсивных МУ весьма низок и с учетом потерь в балластных резисторах, дросселях и вентилях составляет 30 ... 40 %.

Одним из основных показателей МУ как элемента системы регулирования является его коэффициент усиления. Различают коэффициенты усиления по току k_I , по напряжению k_U и по мощности k_P :

$$k_I = \Delta I_n / \Delta I_y; \quad k_U = \Delta U_n / \Delta U_y; \quad k_P = \Delta P_n / \Delta P_y.$$

Коэффициент усиления по току МУ без о. с. зависит только от соотношения числа витков обмоток ω_y и ω_p :

$$k_I = \beta \omega_y / \omega_p,$$

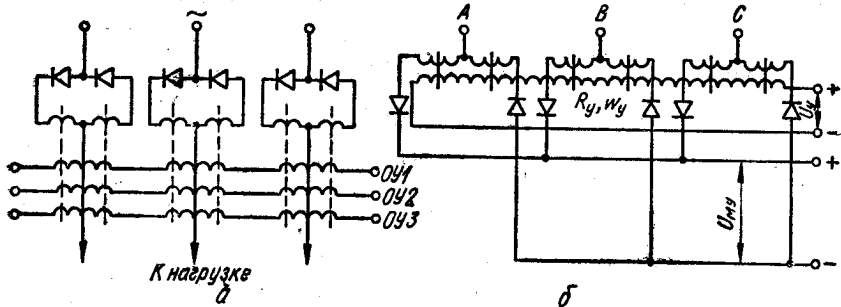


Рис. 1.51. Принципиальные схемы трехфазных МУ с выходом на переменном (а) и постоянном (б) токе

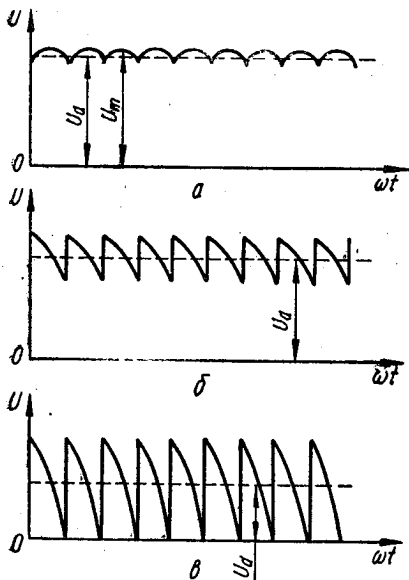


Рис. 1.52. Кривые мгновенных значений выходного напряжения трехфазного МУ: а—при $\alpha=0$; б—при относительно малом значении угла задержки $\alpha=\alpha_1$; в—при глубоком регулировании ($\alpha_2 > \alpha_1$)

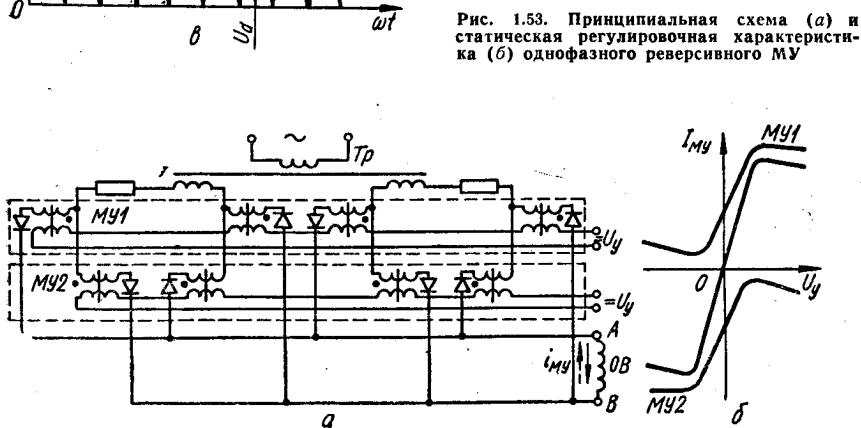


Рис. 1.53. Принципиальная схема (а) и статическая регулировочная характеристика (б) однофазного реверсивного МУ

где β — переменный коэффициент, учитывающий нелинейность характеристики управления.

Коэффициент усиления по току МУ с о. с.

$$k_I = \frac{\omega_y}{\omega_p (1/\beta - k_{o.c.})}$$

Теоретический коэффициент усиления по току МУ с внутренней о. с. (самонасыщающихся) $k_{o.c.} = 1$, для реальных условий $k_{o.c.} = 0,90 \dots 0,95$, при $\beta = 1$ он становится равным бесконечности. Следовательно, внутренняя положительная о. с. по току дает значительный коэффициент усиления МУ без увеличения мощности его сбмотки управления.

Реальные значения коэффициента усиления определяются для рабочей (прямолинейной) части характеристики МУ (см. рис. 1.50, б). Коэффициент усиления по току МУ серии ТУМ находится в пределах 20 ... 85. Его можно увеличить за счет внешней о. с. или путем каскадного соединения нескольких МУ.

Существенным недостатком МУ является инерционность. Для увеличения быстродействия промежуточных и суммирующих МУ их питают напряжением повышенной частоты 400 (1200) Гц от специальных преобразователей частоты. Для работы с частотой 400 Гц выпускаются специальные серии МУ (ТУМ — АК и др.).

Выпрямители с неуправляемыми вентилями, регулируемые с помощью силовых МУ, отличаются простотой конструкции и высокой надежностью, однако они уступают тиристорным преобразователям по быстродействию и массо-габаритным показателям.

1.13. ЭЛЕКТРОМАГНИТЫ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ МУФТЫ

Электромагниты широко применяются в автоматизированном электроприводе для линейных перемещений отдельных элементов производственных механизмов, управления клапанами гидравлических и пневматических систем, управления тормозными устройствами. Кроме того, электромагниты являются составной частью рассмотренных выше электромагнитных контакторов и реле.

Электромагниты переменного тока (рис. 1.54, а) получили наибольшее распространение. Ядро электромагнита 2 и подвижный якорь 1 шихтованы из листов электротехнической стали. Катушка 3 включается в цепь переменного тока и создает магнитное поле, которое притягивает якорь. Короткозамкнутый виток 4, как и в контакторах переменного тока, служит для устранения вибраций. Усилие F , действующее на якорь электромагнита, пропорционально квадрату рабочей индукции в воздушном зазоре B_p и площади поперечного сечения S якоря: $F = B_p^2 S$.

С увеличением длины воздушного зазора (хода якоря) l_0 сопротивление цепи возрастает, а индукция резко падает (при неизменной м. д. с.); при этом индуктивное сопротивление катушки электромагнита переменного тока уменьшается. В результате ток в ка-

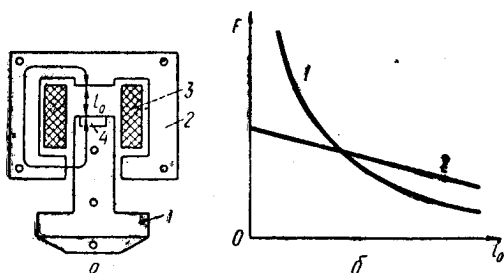


Рис. 1.54. Устройство электромагнита переменного тока (а) и тяговые характеристики электромагнитов (б) постоянного (кривая 1) и переменного (кривая 2) тока

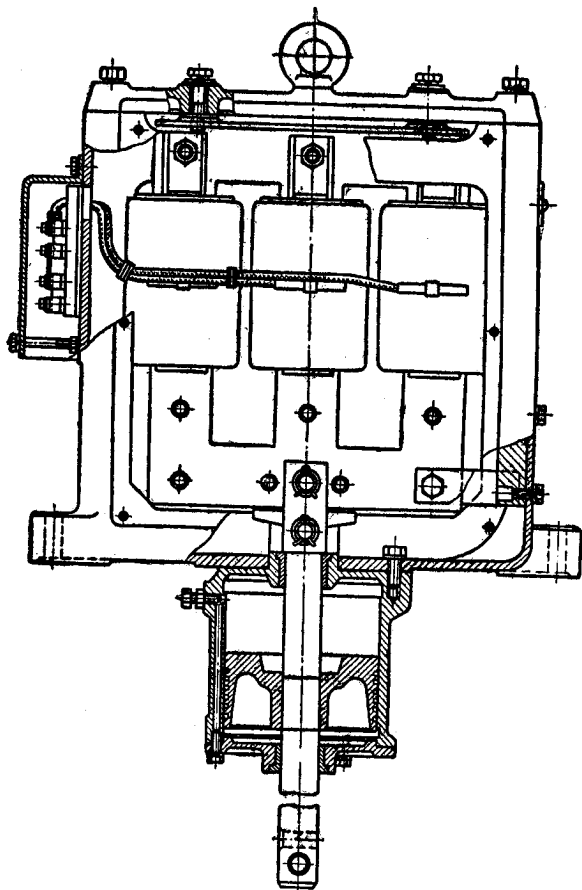


Рис. 1.55. Трехфазный электромагнит типа КМТ4А

тушке увеличивается, м. д. с. возрастает, а сила тяги снижается в меньшей степени, чем у электромагнитов постоянного тока. Тяговые (статические) характеристики электромагнитов постоянного и переменного тока показаны на рис. 1.54, б. Промышленность выпускает одно- и трехфазные электромагниты переменного тока с тяговым усилием 15...1400 Н и ходом якоря 20...80 мм.

Следует иметь в виду, что электромагниты переменного тока при включении потребляют ток в 20...30 раз больший, чем в рабочем состоянии. Коэффициент мощности их при включении находится в пределах 0,1...0,35. Выбор коммутационных аппаратов для электромагнитов производят по пусковому току $I_{п.}$. Условие выбора:

$$I_{ном} = k_3 I_{п.}$$

где $I_{ном}$ — номинальный ток коммутационного аппарата; k_3 — коэффициент запаса ($k_3 = 1,5 \dots 2$).

Длинноходовые электромагниты переменного тока, устанавливаемые в беспружинных приводах эскалаторов, лифтов и кранов, имеют значительную массу. Например, трехфазный электромагнит типа КМТ4А (рис. 1.55) с тяговым усилием 700 Н имеет массу 86 кг и при включении потребляет мощность 38 кВ·А, в рабочем состоянии — 1,9 кВ·А.

Электромагниты постоянного тока имеют меньшие массу и габаритные размеры по сравнению с электромагнитами переменного тока при одинаковом тяговом усилии. Так, масса короткоходового электромагнита постоянного тока типа МП301 (рис. 1.56) с тяговым усилием 700 Н составляет 36 кг (габаритные размеры $L=220$ мм, $D=233$ мм), а потребляемая мощность — 70 Вт (ПВ=100%).

Недостатками электромагнитов постоянного тока являются относительно большое время срабатывания (время включения 0,15...2,5 с, время отпадания 0,1...0,6 с), необходимость в источнике питания постоянного тока, а также тяжелые условия коммутации мощных электромагнитов.

Для уменьшения времени срабатывания применяют форсирование напряжения при включении. Питание мощных электромагнитов от сети переменного тока осуществляют с помощью однофазных выпрямительных устройств (рис. 1.57). В данной схеме предусмотрено форсирование напряжения питания при включении электромагнита ЭМ. Реле форсирования РФ срабатывает при включении контактора К и шунтирует резистор R1 на время 0,3...1,05 с. Включение и отключение контактора производятся контактом РТ командоаппарата или реле.

Электромагнитные муфты управления — это электрические аппараты, предназначенные для автоматического соединения ведущего и ведомого валов вращающихся механизмов и позволяющие осуществлять дистанционное управление и регулировать передаваемый момент. Различают электромагнитные муфты трения (фрикционные), муфты сцепления (порошковые) и муфты скольжения (индукторные).

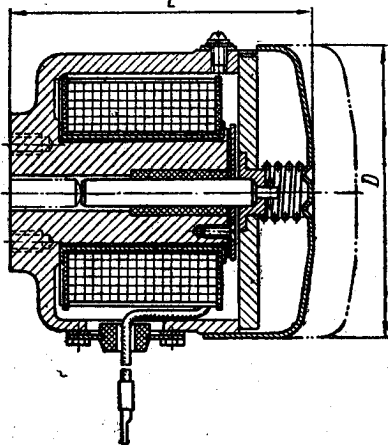


Рис. 1.56. Короткоходовой электромагнит постоянного тока типа МП301

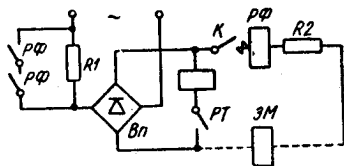


Рис. 1.57. Схема питания электромагнита постоянного тока от выпрямителя с форсированием напряжения

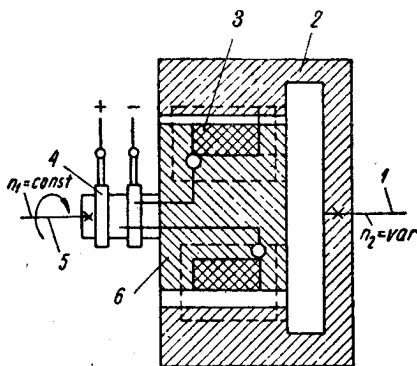


Рис. 1.58. Индукторная муфта скольжения

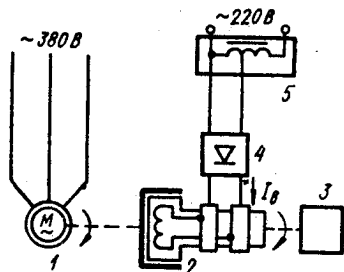


Рис. 1.59. Принципиальная схема электропривода с индукторной муфтой скольжения

Индукторные муфты сцепления (рис. 1.58) получили наибольшее распространение. Такая муфта состоит из двух concentrically расположенных частей, связанных между собой электромагнитным потоком: индуктора 6, укрепленного на ведущем валу 5, и якоря 2 в виде полого стального цилиндра, посаженного на ведомый вал 1. Катушки возбуждения 3 индуктора обтекаются постоянным током, который подводится через контактные кольца и щетки 4.

При вращении ведущего вала индуктор перемещается относительно якоря, в активной части которого наводятся вихревые токи. Взаимодействие последних с основным магнитным потоком индуктора создает крутящий момент, который приводит во вращение ведомую часть муфты. Регулируя ток возбуждения муфты, можно плавно изменять крутящий момент, а следовательно, и частоту вращения механизма, связанного с ведомой частью муфты.

Принципиальная схема электропривода с асинхронным короткозамкнутым двигателем 1 и индукторной муфтой скольжения 2 показана на рис. 1.59. Питание цепи возбуждения муфты производится от выпрямителя 4, регулируемого вариатором напряжения 5. Индуктор в данном случае соединен с ведомым валом механизма 3.

Применение индукторных муфт решает задачу регулирования скорости электропривода при постоянной частоте вращения двигателя, обеспечивая сцепление и расцепление валов во время работы, сглаживание ударов при пуске и ограничение передаваемого вращающего момента. Управление муфтами может быть местное дистанционное и автоматическое.

В автоматических системах управление муфтой производится с помощью МУ, регулирующих ток возбуждения. Промышленность выпускает индукторные муфты скольжения серии ИМС с номинальным моментом 7,5...160 кгс·м (номинальный момент в этих единицах указывается в обозначении муфты, например ИМС-7,5, ИМС-160 и т. д.). Максимально допустимая частота вращения $n_{\text{доп}} = 3000$ об/мин для муфт типов ИМС-7,5, ИМС-22 и $n_{\text{доп}} = 1500$ об/мин для муфт остальных типов. К техническим данным муфт скольжения относятся также длительно допустимые потери скольжения $P_{\text{едоп}}$ при различной входной частоте вращения, которые характеризуют свойство муфты рассеивать тепло, выделяющееся в процессе регулирования ею частоты вращения.

К. п. д. муфты определяется отношением мощности $P_{\text{мх}}$, используемой механизмом, к мощности P на валу двигателя, вращающего ведущий вал муфты:

$$\eta = P_{\text{мх}}/P \cong 1 - s.$$

При работе на различной частоте вращения потери на скольжение в муфте P_s для механизмов с постоянным моментом и мощностью растут с глубиной регулирования частоты вращения (рис. 1.60, а, б). Для механизмов с вентиляторным моментом потери имеют максимум при частоте вращения выходного вала

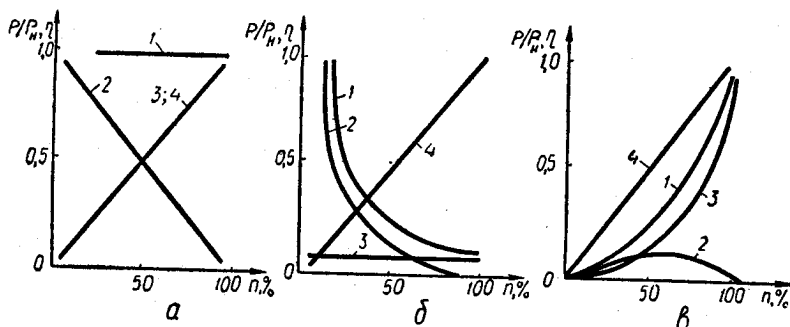


Рис. 1.60. Энергетические показатели индукторных муфт скольжения для механизмов с постоянным моментом (а), постоянной мощностью (б) и с вентиляторным моментом (в): 1 — потребляемая мощность; 2 — потери на скольжение; 3 — полезная мощность на валу механизма; 4 — к. п. д. муфты

$n_2 = 0,667 n_1$ (рис. 1.60, в), где n_1 — частота вращения ведущего вала муфты.

Выбор индукторных муфт производится по следующим условиям:

номинальному моменту

$$M_{\text{ном}} \geq M_n;$$

максимально допустимой частоте вращения

$$n_{\text{доп}} \geq n_{\text{н.дв}};$$

длительно допустимым потерям скольжения

$$P_{s \text{ дв}} \geq P_{s \text{ эк}},$$

где $P_{s \text{ эк}}$ — эквивалентные потери скольжения.

При работе муфты с переменным скольжением в кратковременном или повторно-кратковременном режимах потери $P_{s \text{ эк}}$ определяют как средние за 10 мин:

$$P_{s \text{ эк}} = \frac{P_1 t_1 + P_2 t_2 + \dots + P_n t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n},$$

где P_1, P_2, \dots, P_n — потери скольжения за промежутки времени t_1, t_2, \dots, t_n соответственно.

1.14. АППАРАТУРА ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

К основным электрическим аппаратам, осуществляющим защиту двигателей, преобразователей и другого оборудования электропривода от аварийных режимов, относятся: плавкие предохранители, максимальные токовые и тепловые реле, а также автоматические выключатели со встроенными тепловыми и максимальными токовыми расцепителями.

Плавкие предохранители применяются для защиты главных цепей электродвигателей, преобразователей и цепей управления при коротких замыканиях. Выпускается несколько типов плавких предохранителей, отличающихся параметрами и конструкцией.

Предохранители разборные серии ПР-2 (рис. 1.61) выпускаются на номинальные ток 15...1000 А и напряжение до 500 В. Отключаемый ток (действующее значение) достигает

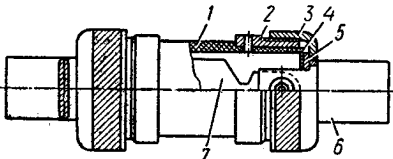


Рис. 1.61. Плавкий предохранитель серии ПР-2

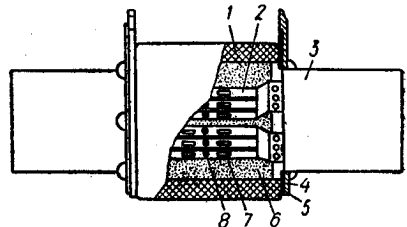


Рис. 1.62. Плавкий предохранитель серии ПН-2

15...20 кА. Патрон такого предохранителя представляет собой фибровую трубку 1, армированную латунными втулками 2 с резьбой. На втулки навинчиваются колпачки 3, которые закрепляют плавкую вставку 7, привинченную к контактным ножам 6 до установки ее в патрон. Для предотвращения поворачивания контактов предусмотрены шайбы 4, 5. Контактные ножи вставляются в неподвижные контактные стойки, укрепленные на изоляционной плите. Плавкая вставка изготавливается из цинка в виде пластины с вырезами.

При коротком замыкании плавкая вставка перегорает в суженных частях и осыпается вниз патрона. Возникающая дуга своим теплом воздействует на фибру, которая является газогенерирующим материалом. Давление образовавшихся газов в зависимости от отключаемого тока может достигать 10 МПа. При высоком давлении их дуга быстро деионизируется и гаснет.

Предохранители серии ПР-2 должны устанавливаться только вертикально. Их достоинством является простота перезарядки, недостатком — несколько большие размеры, чем предохранителей с наполнителем.

Предохранители с наполнителем серии ПН-2 (рис. 1.62) выполняются на номинальный ток 100...600 А и применяются для защиты силовых цепей напряжением до 500 В переменного и 440 В постоянного тока. Предельный отключаемый ток равен 50 кА.

К фарфоровому корпусу 1 предохранителя с помощью винтов с двух сторон крепятся металлические крышки 4 с уплотняющими прокладками 5. Плавкая вставка 2 приварена к шайбам контактных ножей 3. Корпус заполнен очищенным кварцевым песком 6. Плавкая вставка изготовлена из медных ленточек с прорезями 7, уменьшающими площадь сечения ленточки. Для снижения температуры плавления вставки на полоски меди напаяны оловянные шарики 8. За счет возникающего при этом металлургического эффекта температура плавления вставки не превышает 475 °С (температура плавления чистой меди равна 1083 °С). Образующаяся при плавлении вставки дуга со всех сторон стесняется частями наполнителя. Эффект узкой щели способствует тому, что дуга охлаждается, деионизируется и быстро гаснет.

Рассмотренные предохранители с фибровыми трубками и с кварцевым наполнителем обладают токоограничивающим действием. Оно заключается в том, что плавление вставки при коротком замыкании происходит прежде, чем ток короткого замыкания достигнет своего установившегося значения в цепи постоянного тока или ударного тока в цепи переменного тока.

Быстродействующие предохранители серий ПНБ, ПНБ5М и ПП41 применяются для защиты полупроводниковых преобразователей. Они предназначены для установки как на стороне переменного тока при напряжении 750 В, так и на стороне постоянного тока при напряжении до 440 В. Основу этих предохранителей (рис. 1.63) составляет плавкая вставка, поме-

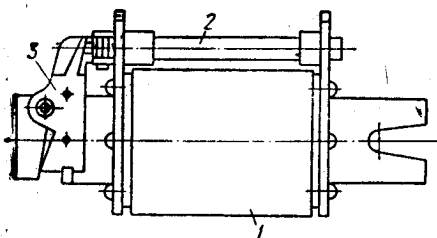


Рис. 1.63. Быстродействующий плавкий предохранитель серии ПНБ5М

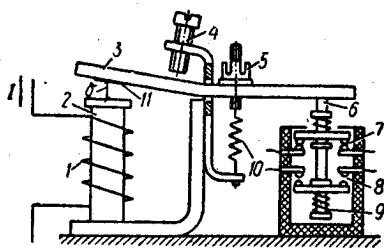


Рис. 1.64. Максимальное токовое реле серии P-4000

щенная в фарфоровый патрон 1, заполненный кварцевым песком. Быстродействие достигается благодаря специальной конструкции плавкой вставки, которая изготавливается из серебряной фольги с большим отношением (до 50) максимальной площади сечения к минимальной в калиброванном перешейке. Перешейки снабжены радиаторами из керамического материала для отвода тепла, которые являются также дугогасительными камерами с узкими щелями, значительно улучшающими условия гашения дуги. С внешней стороны предохранителя установлен сигнальный патрон 2, блинкер которого сигнализирует о расплавлении плавкой вставки и, воздействуя на микропереключатель 3, замыкает сигнальные контакты.

Предохранители серии ПНБ5М (пятая модификация, модернизированная) выпускаются на ток 40...630 А и отличаются от предохранителей серии ПНБ5, главным образом, меньшими габаритами. Новая серия предохранителей ПП41 имеет более широкую номенклатуру по току (до 1000 А) и лучшие защитные характеристики, чем предохранители серий ПНБ5 и ПНБ5М.

Максимальные токовые реле служат для защиты цепей двигателей и преобразователей от коротких замыканий и перегрузок. Реле максимального тока серии P-4000 (рис. 1.64) предназначено для защиты главных цепей двигателей постоянного тока. Принцип действия его такой же, как и рассмотренного ранее электромагнитного реле управления (см. рис. 1.37).

Катушка 1 реле, намотанная проводом большого сечения, включается последовательно в защищаемую цепь. Реле срабатывает и посредством тяги 6 с пружиной 9 переключает свои контакты 7, 8, если ток I в катушке превышает ток уставки. Уставка реле регулируется изменением затяжки пружины 10 гайкой 5 и зазора δ между сердечником 2 и якорем 3 (винтом 4). Для предотвращения «залипания» якоря после отключения реле служит немагнитная прокладка 11. Обычно реле выполняется с самовозвратом, но имеются модификации реле с механической защелкой (без самовозврата).

Реле защиты от перегрузок типа PЭО-401 (рис. 1.65) устанавливается в крановом электроприводе постоянного и переменного тока. Реле имеет прямоходовый электромагнит 2

и размыкающий контакт 1. Катушка электромагнита 3 включает последовательно в защищаемую цепь. Якорь 5 свободно перемещается в трубке 4. Уставка тока срабатывания реле регулируется путем изменения начального положения якоря по высоте. При срабатывании реле якорь через толкатель контактного узла размыкает контакт, рассчитанный на коммутацию переменного тока до 10 А при напряжении 380 В и постоянного тока до 1 А при напряжении 220 В. Имеются исполнения реле, в которых два — четыре электромагнита крепятся на общем основании и воздействуют на общий контакт.

Тепловые реле применяются для защиты двигателей от недопустимых перегрузок. Эти реле защищают также трехфазные двигатели переменного тока при обрыве одного из проводов питающей линии, так как в данном случае ток в двух поврежденных фазах становится больше номинального. Тепловые реле устанавливаются свободно на панелях или встраиваются в автоматические выключатели и магнитные пускатели.

Принцип действия простейшего теплового реле (рис. 1.66, а) основан на использовании свойства биметаллической пластинки, состоящей из двух полосок металла с различными коэффициентами линейного расширения, изгибаться при нагреве. Нагревательный элемент 1 включается последовательно в защищаемую цепь. Если ток в цепи меньше тока срабатывания реле, то биметаллическая пластинка 2 удерживает рычаг 4, нагруженный пружиной 3, и контакт 5 замкнут. При определенной длительности тока перегрузки реле срабатывает, контакт 5 размыкается и цепь управления отключается. Возврат реле в исходное положение осуществляется с помощью специальной кнопки 6 или автоматически при остывании биметаллической пластинки (самовозврат).

Примерный вид защитной характеристики теплового реле показан на рис. 1.66, б. Токи его срабатывания определяются номинальным током теплового элемента или сменного нагревателя. В тепловых реле некоторых типов уставки регулируются в пределах $0,75...1,3 I_{ном}$.

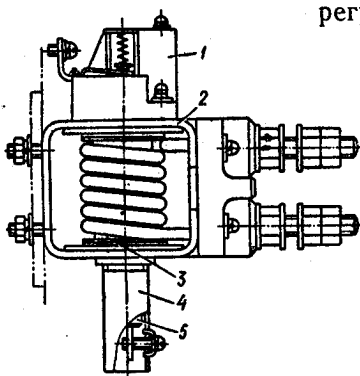


Рис. 1.65. Реле защиты от перегрузок типа РЭО-401

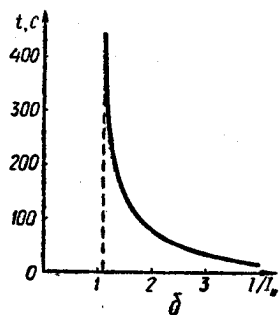
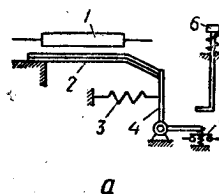


Рис. 1.66. Принципиальная схема (а) и защитная характеристика (б) теплового реле

В магнитные пускатели встраиваются тепловые реле серий ТРП и ТРН (двухполюсные с двумя нагревательными элементами), а в автоматические выключатели некоторых типов — термобиметаллические расцепители, которые представляют собой тепловое реле прямого действия (с непосредственным воздействием на удерживающий механизм автомата).

Автоматические выключатели (автоматы) служат для защиты и редких коммутаций силовых цепей и цепей управления электроприводов переменного и постоянного тока. Включение большинства автоматов производится ручным приводом, а отключение может осуществляться оператором (местное или дистанционное) или автоматически. Некоторые автоматы (серий АЗ700, АВМ, «Электрон» и др.) выпускаются с электромагнитным или электродвигательным приводом для дистанционного и автоматического их включения. По числу полюсов автоматы бывают одно-, двух- и трехполюсные. Все автоматы выполняются с механизмом свободного расцепления, который обеспечивает отключение автомата встроенными расцепителями в любой момент времени, в том числе и в процессе включения.

Устройство автоматического выключателя схематично показано на рис. 1.67. В главной цепи автомата находятся шины 1, гибкая связь 4 и контактная система с главными 3 и дугогасительными 2 контактами. Включение его производится вручную рукояткой 12 или дистанционно электромагнитным приводом 13.

При включении движение через рычаги 14 и 15 механизма свободного расцепления передается контактному рычагу 16. Когда автомат включен, рычаги 14 и 15 находятся в «мертвом» положении и запирают контактную систему. При действии расцепителей 5, 8, 9 и 10 шарнирное соединение рычагов 14, 15 «ломается» и под действием пружины 17 контактная система отключается.

Расцепители — это электромагнитные или термобиметаллические механизмы, отключающие автомат при превышении контролируемого ими параметра (зависимые расцепители) или при дистанционной подаче отключающего сигнала (независимый расцепитель 10). Электромагнитный расцепитель максимального тока 8 состоит из катушки и сердечника. Когда по катушке протекает ток короткого замыкания, расце-

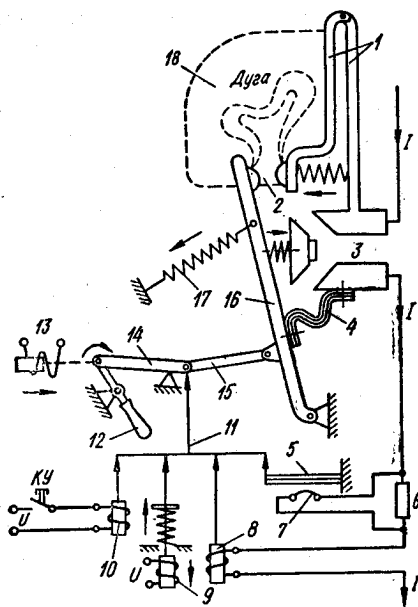


Рис. 1.67. Устройство автоматического выключателя

питель срабатывает и, воздействуя на механизм свободного расцепления, отключает автомат. Расцепитель максимального тока может снабжаться механизмом выдержки времени. Термобиметаллический (тепловой) расцепитель 5 осуществляет защиту контролируемой цепи от перегрузки. Его нагреватель 7 подключен через шунт 6. При срабатывании тепловой расцепитель воздействует на механизм свободного расцепления через тягу 11. Расцепитель минимального напряжения 9 срабатывает при снижении или исчезновении напряжения в главной цепи. Гашение дуги, возникающей на контактах 2 при отключении автомата, происходит в дугогасительной камере 18.

В электроприводе в зависимости от мощности, рода тока и системы управления используются автоматические выключатели различных типов.

Автоматы серии АЗ700 (рис. 1.68) изготавливаются на ток 160...630 А и напряжение до 660 В переменного и до 440 В постоянного тока. Как более совершенные, они выпускаются взамен автоматов серии АЗ100 в трех исполнениях: токоограничивающем с термобиметаллическими и электромагнитными расцепителями максимального тока мгновенного действия; токоограничивающем с полупроводниковыми и электромагнитными расцепителями максимального тока без выдержки времени; селективном с полупроводниковыми расцепителями постоянного тока (с регулируемой выдержкой времени). Полупроводниковый расцепитель обеспечивает хорошую защитную характеристику автомата, которая имеет зависимость от тока часть при токе перегрузки $1,25...5 I_{ном}$ и независимую часть (отсечку) при токе, большем $5...6 I_{ном}$. Предельный коммутируемый ток быстродействующих автоматов составляет 100 кА, селективных — 60 кА.

Автоматы серии АЗ700 постоянного тока выпускаются с двумя, а переменного тока с тремя полюсами. Контакты 4, 5 автомата (см. рис. 1.68) имеют металлокерамические накладки. Его включение можно производить вручную рукояткой 7 или с помощью электромагнитного привода (на рисунке не показан). Автоматическое отключение происходит при срабатывании расцепителей, воздействующих на отключающую рейку 10, которая освобождает защелку механизма свободного расцепления 6. Полупроводниковый блок управления 11 — съемный.

Остальные цифровые обозначения на рис. 1.68 означают: 1 — зажим главной цепи; 2 — дугогасительная камера; 3 — пластмассовая крышка; 8 — пружины мгновенного включения и отключения; 9 — катушка независимого расцепителя; 12 — регулирующая ручка; 13 — трансформатор тока; 14 — сердечник расцепителя максимального тока мгновенного действия; 15 — якорь.

Автоматические выключатели серии АВМ выпускаются на ток до 1000 А и напряжение до 500 В переменного и 440 В постоянного тока с ручным и электродвигательным приводами. В этих автоматах устанавливаются расцепители максимального тока трех типов: мгновенного действия (тип 1), с часовым

механизмом и обратно зависимой от тока выдержкой времени (тип 2); с часовым механизмом и селективной приставкой — отключает выключатель при перегрузках, как расцепители типа 2, а при коротких замыканиях с независимой от тока выдержкой времени (тип 3).

Автоматы данной серии имеют несколько бóльшие размеры, чем выключатели серии АЗ700 такой же мощности. Число включений автомата серии АВМ ограничено его износостойкостью

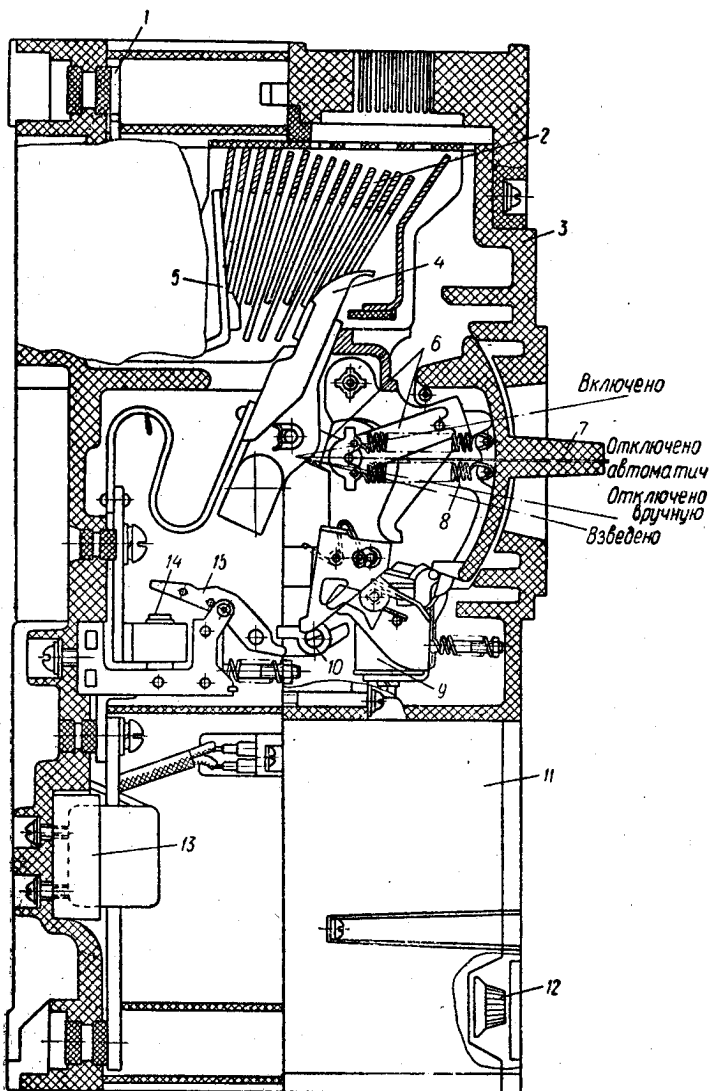


Рис. 1.68. Автоматический выключатель серии АЗ700

(общее число включений не превышает $1 \cdot 10^4$, в том числе под нагрузкой — $1 \cdot 10^3$).

Автоматические выключатели серии «Электрон» выпускаются на ток 250..4000 А и напряжение до 660 В переменного тока с ручным, электромагнитным и электродвигательным приводами включения с исполнениями: замедленного действия (селективное); мгновенного действия; неавтоматическим (без расцепителей максимального тока). Предельный коммутационный ток при напряжении 380 В равен 65 кА (действующее значение симметричной составляющей) и 55 кА при напряжении 440 В постоянного тока.

Основными параметрами автоматических выключателей являются номинальное напряжение $U_{ном}$; номинальный ток $I_{ном}$; предельный ток отключения: $I_{откл.ном}$ (действующее значение) или номинальный ударный ток $i_{у.ном}$ (мгновенное значение); ток электродинамической стойкости $i_{дин}$ и номинальный тепловой импульс $B_{к.ном}$ ($A^2 \cdot c$).

Выбор автоматических выключателей производится с учетом:

- номинального напряжения установки ($U_{у.ном}$) $U_{ном} \geq U_{у.ном}$;
- рода и силы рабочего максимального тока ($I_{р max}$) $I_{ном} > I_{р max}$;
- предельного отключаемого тока $I_{откл.ном} \geq I_{по}$, где $I_{по}$ — действующее значение периодической составляющей тока короткого замыкания в начальный момент.

Коммутационная способность токоограничивающих (быстродействующих) автоматов проверяется по условию $i_{у.ном} \geq i_y$, где i_y — ударный ток короткого замыкания (расчетное значение); электродинамическая стойкость — по условию $i_{дин} \geq i_y$, а термическая стойкость только селективных автоматов — по условию $B_{к max} \geq I_{по}^2 (t + t_c)$, где t — выдержка времени отключения автомата, с; t_c — собственное время отключения, с.

Устройства защиты полупроводниковых преобразователей.

Для защиты полупроводниковых преобразователей наряду с рассмотренными устройствами (автоматическими выключателями, токовыми реле, быстродействующими плавкими предохранителями) применяются специальные устройства: полупроводниковые датчики тока и температуры, а также тепловые аналоги вентиля. В качестве примера рассмотрим устройство защиты полупроводникового преобразователя от перегрузки, разработанное при участии авторов [7]. Его принципиальная схема изображена на рис. 1.69.

Устройство содержит датчики (трансформаторы) тока, датчик температуры защищаемого вен-

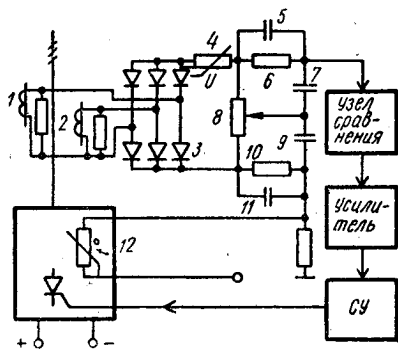


Рис. 1.69. Принципиальная схема устройства защиты полупроводникового преобразователя от перегрузки

тиля и тепловой аналог. Сигнал, пропорциональный току защищаемого вентиля, с трансформаторов тока 1 и 2 через выпрямитель 3 поступает на делитель, образованный варистором 4 и резистором 8. Напряжение на резисторе 8, пропорциональное потерям в вентиле, подается на схему, состоящую из резисторов 6 и 10 и конденсаторов 5, 7, 9, 11 и представляющую собой аналог теплового сопротивления вентиля от $p-n$ перехода к корпусу. Напряжение на выходе теплового аналога суммируется с выходным сигналом датчика 12 температуры корпуса вентиля (терморезистор) и поступает в систему управления СУ.

Данное устройство защиты позволяет согласовать характеристику отключающего устройства с характеристиками полупроводникового преобразователя при переменной кратковременной и повторно-кратковременной нагрузке.

Более детально устройства защиты полупроводниковых преобразователей рассматриваются в специальной литературе [10].

ОСОБЕННОСТИ ИНЖЕНЕРНЫХ РАСЧЕТОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ТИПОВЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ УСТАНОВОК

Глава 2

2.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Механическая энергия электродвигателей широко используется для приведения в движение множества рабочих машин и механизмов в промышленности, на транспорте, в сельском хозяйстве и быту. Режимы работы производственных машин и механизмов изменяются в соответствии с требованиями технологического процесса, что приводит к изменению их механической мощности. Поэтому электропривод должен обеспечивать не только преобразование электрической энергии, но и управление преобразованной энергией.

Как сказано в гл. 1, *электроприводом* называется электромеханическая система, состоящая из преобразовательного 1, электродвигательного 2, передаточного 3 и управляющего 4 устройств (рис. 2.1). От передаточного устройства механическая энергия передается непосредственно исполнительному органу ИО рабочей машины.

В простейшем варианте электропривод представляет собой двигатель, питаемый от сети и приводящий в движение с неизменной скоростью какой-либо механизм. При этом система управления может сводиться к обычному рубильнику или включателю, подключающему двигатель к электрической сети.

В электроприводе используются двигатели (табл. 2.1), отличающиеся между собой по исполнению, принципу действия, роду тока и т. п.

В современном электроприводе применяется питание двигателя от сети через дополнительное преобразовательное устройство, которое преобразует, например, трехфазное напряжение промышленной частоты в постоянное напряжение или в напряжение также трехфазное, но другой амплитуды или иной частоты.

В зависимости от способа передачи механической энергии от двигателя к исполнительным органам рабочих машин электроприводы делятся на три основных вида: групповой, индивидуальный и многодвигательный.

Групповым называется электропривод, обеспечивающий движение исполнительных органов нескольких рабочих машин или нескольких исполнительных органов одной рабочей машины. При таком приводе кинематическая

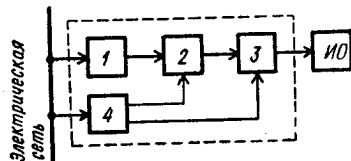


Рис. 2.1. Структурная схема электропривода


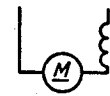
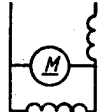




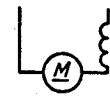
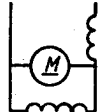



цепь рабочих машин часто оказывается сложной и громоздкой, привод становится неэкономичным и поэтому в настоящее время он применяется очень редко.

Индивидуальным называется электропривод, обеспечивающий движение одного исполнительного органа рабочей машины. По сравнению с групповым этот привод позволяет существенно упростить кинематическую цепь рабочей машины, улучшить условия эксплуатации и упростить автоматизацию установки, благодаря чему он применяется очень часто, хотя при его использовании в сложных установках потери энергии значительны, поскольку кинематическая схема рабочей машины включает в себя целый ряд передач, необходимых для выполнения нескольких операций.

Наиболее совершенным является *многодвигательный* электропривод, несколько электродвигательных устройств которого приводят в движение исполнительные органы машины. Такой привод дает возможность предельно упростить кинематику машины и повысить ее к. п. д. Например, в металлорежущем станке необходимое для обработки детали движение по разным координатам обеспечивается индивидуальными электроприводами. В совокупности их можно назвать многодвигательным электроприводом станка. Аналогично многодвигательный электропривод экскаватора объединяет индивидуальные электроприводы главных рабочих операций (напора, подъема, поворота и хода). Вместе с тем встречаются электроприводы, когда один и тот же исполнительный орган рабочей машины приводится в движение несколькими двигателями, что позволяет в ряде случаев снизить усилие в исполнительном органе, распределить их более равномерно и т. п. Так, многодвигательный электропривод длинного скребкового конвейера по сравнению с однодвигательным имеет более равномерную загрузку и меньшее натяжение тянущего органа — цепи.

Система управления в значительной степени определяет свойства и возможности электропривода. В ее состав входят коммутационные аппараты и элементы, осуществляющие функциональное преобразование сигналов управления для обеспечения требуемых законов движения. В простейшем электроприводе мо-

Т а б л и ц а 2.1. Типы двигателей, применяемых в электроприводе

Род тока	Постоянный			Переменный (трехфазный)		
	Независимого возбуждения	Последовательного возбуждения	Смешанного возбуждения	Асинхронный	Синхронный	Дискретный
Тип двигателя						
Условное графическое обозначение						

гут применяться только коммутационные аппараты для подключения и отключения двигателя от сети, а в сложных системах наряду с коммутационной аппаратурой используется значительное количество электромагнитной, полупроводниковой и другой аппаратуры вплоть до ЭВМ.

Современный электропривод промышленных установок характеризуется большим диапазоном мощности применяемых двигателей — от долей до десятков тысяч киловатт. Так, в коксохимических цехах мощность питателей и дозирочных столов составляет 4...10 кВт, дробилок, газодувок и компрессоров — до 4000 кВт переменного тока. Большинство механизмов работает в продолжительном режиме, часть (угольные перегружатели, коксовые машины, вагонопрокидыватели и др.) — в повторно-кратковременном.

Мощность электроприводов механизмов доменной печи колеблется от 0,4 кВт для задвижек до 1500 кВт для скипового подъема. Механизмы, требующие регулирования скорости, имеют приводы постоянного тока с индивидуальными преобразователями. Режим работы их двигателей разный: есть механизмы продолжительного режима, у которых $PВ = 100\%$; имеются двигатели с повторно-кратковременным режимом работы с $PВ = 15...40\%$.

Основными механизмами мартеновских и конверторных цехов являются различные краны — заливочные, завалочные, разливочные, уборочные и другие, грузоподъемность которых достигает 630 т при емкости ковша 480 т. Мощность приводов отдельных механизмов таких кранов может достигать 300 кВт. Мощность двигателей дымососов составляет 1500...2000 кВт. Краны работают в повторно-кратковременном режиме, насосы и вентиляторы — в продолжительном режиме; приводы перекидных клапанов рекуператоров — в кратковременном режиме.

В прокатных цехах имеются две основные группы электроприводов: главный привод клетей, в которых электроэнергия расходуется на деформацию металла, и приводы вспомогательных механизмов, предназначенных для транспортировки и резки металла.

Мощность отдельных двигателей главных приводов достигает 10 МВт на переменном токе (синхронные тихоходные двигатели) и 11,4 МВт на постоянном токе. Блюминг 1300 имеет индивидуальный привод валков на постоянном токе мощностью по 8 МВт каждый. Главный электропривод выполнен по системе Г—Д с сетевым (приводным) синхронным двигателем мощностью 20 МВт. Современная система автоматики позволяет сократить длительность реверса на заготовочных станах (блюмингах и слябингах), установив его продолжительность менее 1 с при ускорении 14,6...15,7 рад/с². Система питания Г—Д в реверсивных и регулируемых электроприводах постоянного тока в ряде случаев заменяется системой ТП—Д, в нерегулируемых и неререверсивных приводах устанавливаются тихоходные синхронные двигатели.

Наиболее мощные установки содержат непрерывные многоклетевые станы для горячей прокатки листа. Так, стан 2000.

прокатывающий тяжелые слябы массой до 36 т, имеет 12 клетей общей мощностью 116,9 МВт. На стане установлены синхронные двигатели мощностью 5 и 10 МВт и двигатели постоянного тока мощностью 11,4 и 8,5 МВт. Двигатели питаются по системе ТП—Д, а цепи возбуждения — от тиристорных возбудителей.

Мощность электроприводов вспомогательных механизмов (кранов, роликовых конвейеров, качающихся столов, шлепперов, нажимных устройств, кантователей, летучих ножниц, моталок и др.) составляет от десятков до 2500 кВт. Большинство механизмов работает в повторно-кратковременном режиме с ПВ = 15...40 % и частыми пусками. При частоте включений до 400 в час применяются асинхронные двигатели, при более интенсивной работе — двигатели постоянного тока, которые используются также в регулируемом электроприводе. В ряде приводов, например роликовых конвейеров, устанавливаются асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором, скорость которых регулируется путем изменения частоты питающего напряжения в пределах 50...10 Гц с помощью преобразователей частоты — электромагнитных или статических.

Мощность электроприводов крупных станков тяжелого машиностроения достигает 1000 кВт и более. Так, у двухшпиндельного фрезерного станка для обработки заготовок мощность двигателя каждой фрезы равна 650 кВт. Электропривод станка выполнен по системе Г—Д с двигателем мощностью 1600 кВт. У карусельного станка с планшайбами центральной диаметром 14 м и кольцевой диаметром 18,5 м суммарная мощность главных электроприводов составляет 520 кВт, а вспомогательных — 200 кВт. У тяжелых токарных станков, обрабатывающих заготовки массой 2000...2500 кг, мощность главных электроприводов равна 150...250 кВт. Мощность главного электропривода продольно-строгального станка достигает 320 кВт.

Средняя мощность электроприводов станков массового машиностроения колеблется в пределах 5...25 кВт. Применявшаяся ранее система электропривода постоянного тока с контакторным управлением уступила место системам ТП—Д, Г—Д с МУ и Г—Д с ТВ с применением полупроводниковых преобразователей и МУ. Более мелкие станки имеют электроприводы с асинхронными двигателями — одно- и многоскоростными. Небольшая группа шлифовальных, фрезерных и сверлильных станков выпускается с питанием от преобразователей частоты, повышающих промышленную частоту переменного тока. Например, специальные шлифовальные головки работают с частотой вращения 12 000...120 000 об/мин, фрезерные головки для обработки легких металлов — с частотой вращения 6000...60 000 об/мин.

Мощность электроприводов кузнечно-штамповочных машин и прессов колеблется в широких пределах. При производстве мелких деталей в электро- и радиопромышленности, часовой, галантерейной и других отраслях используются электромагнитные прессы, развивающие усилие 5...20 кН. У них движение ползуна осу-

ществляется с помощью электромагнита постоянного тока. В кри-вошипных прессах холодной штамповки с усилием давления 160... 40 000 кН мощность электроприводов составляет 2... 180 кВт, в горячештамповочных с усилием давления 6300... 80 000 кН — 28... 500 кВт. Наиболее мощные прессы (гидравлические) работают от насосно-аккумулирующих станций при давлениях 20... 45 МПа. Сюда относятся гидравлические штамповочные прессы с усилием давления до 300 000 кН и гидравлические ковочные прессы с усилием давления 10 000... 750 000 кН. Мощность двигателей насосных станций гидропрессов составляет 250... 1500 кВт. Режим их работы характеризуется чередованием холостых ходов с кратковременными толчками ударной нагрузки, вследствие чего у них часто устанавливаются маховики и двигатели с повышенным скольжением.

В деревообрабатывающей промышленности применяются механизмы мощностью 1... 140 кВт (лесопильные рамы). Мощность деревообрабатывающих станков составляет 1... 120 кВт. Режим работы их продолжительный, но с неравномерной нагрузкой ввиду неоднородности материала и зависимости сопротивления резанию от степени его влажности. Мощность двигателя выбирается с запасом. Деревообрабатывающие станки работают на трехфазном переменном токе. Для повышения частоты вращения (до 20 000 об/мин) используются электродвигатели с питанием от индивидуальных или групповых преобразователей промышленной частоты в частоту 100... 400 Гц.

В химической промышленности основные производственные механизмы (мешалки, центрифуги, фильтр-прессы) имеют мощность 1... 55 кВт, центробежные насосы — 6... 1500 кВт, компрессоры поршневые — 50... 6300 кВт и турбокомпрессоры — 700... 12 000 кВт.

Специфическими механизмами в резинотехнической промышленности являются червячные прессы мощностью 110... 550 кВт, вальцы мощностью 80... 400 кВт, каландры мощностью 45... 196 кВт и др. На заводах по переработке пластмасс применяются таблеточные и прессово-литьевые машины, гидропрессы, термопластавтоматы мощностью 2... 85 кВт, агрегаты для изготовления листа мощностью 90... 115 кВт и пр.

Для регулирования частоты вращения турбокомпрессоров до 75 % номинальной используется вентильный каскад, а для изменения частоты вращения поршневых компрессоров до 50 % номинальной — система ПЧ—Д.

В электроприводе химических аппаратов, работающих при высоких давлениях или с ядовитыми жидкостями, включая радиоактивные, устанавливаются специальные асинхронные экранированные двигатели. Между статором и ротором у них помещается металлический экран, являющийся частью химического аппарата, что позволяет обойтись без сальниковых уплотнений и упростить конструкцию двигателя. Через этот экран энергия от статора передается ротору; потери в экране несколько снижают к. п. д. и

коэффициент мощности электродвигателя, однако преимущество получения надежной конструкции химического аппарата здесь играет решающую роль.

Режим работы двигателей в основном продолжительный, хотя ряд электроприводов работает кратковременно. Циклический характер работы имеют центрифуги, мешалки и смесители, для которых характерны тяжелые условия пуска и начального периода, после которого их нагрузка снижается в два-три раза. Поэтому в электроприводе мешалок применяются иногда два двигателя: более мощный работает только в начале цикла, после снижения нагрузки он отключается и вступает в работу менее мощный двигатель.

В горнодобывающей промышленности мощность электродвигателей, используемых для добычи и транспортировки угля и руды в подземных выработках, колеблется в весьма широких пределах: от 1...3 кВт для электроинструмента до 1250...8800 кВт для главного подъема. Главный подъем на современных шахтах выполняется по системам ТП—Д с ТВ, заменяющих систему Г—Д. Исполнительные двигатели постоянного тока, устанавливаемые в безредукторном электроприводе подъемных установок, имеют частоту вращения 28...30 об/мин, вследствие чего их диаметр достигает 5 м и более.

Механизмы в забоях выработок работают в повторно-кратковременном режиме с $PB \leq 60\%$, а водоотлив и вентиляция — в продолжительном режиме. Условия работы электропривода в подземных выработках тяжелые, поэтому применяемое электрооборудование должно иметь специальное исполнение (РН, РП, РВ или РО).

Широко используются на строительстве и в карьерах экскаваторы различных типов. Если у старого шагающего экскаватора драглайна типа ЭШ-14/65 с ковшем емкостью 14 м³ и стрелой длиной 65 м общая мощность электродвигателей составляла 3516 кВт, то у экскаватора типа ЭШ-80/100 с электроприводом, выполненным по системе Г—Д, мощность только сетевого синхронного двигателя равна 14 МВт. Ведутся работы по созданию экскаваторов с емкостью ковша до 100 м³, у которых мощность сетевых двигателей достигнет 18...28 МВт. Возрастут также мощности электродвигателей экскаваторов с механической лопатой: если у экскаватора типа ЭВГ-35/65 с ковшем емкостью 35 м³ и лопатой длиной 65 м мощность сетевого двигателя составляет 3,2 МВт, то экскаватор типа ЭВГ-100/100 будет иметь такой двигатель мощностью 18 МВт. В настоящее время наиболее распространенной системой электропривода главных механизмов экскаватора является система Г—Д. Формирование управляющего сигнала в ней осуществляется с помощью электромашинных или магнитных усилителей, а также тиристорных преобразователей, которые включаются в цепь питания обмотки возбуждения генератора.

Для обогащения и агломерации руд в черной и цветной метал-

лургии применяются флотационные машины с многодвигательным электроприводом, мощность каждого двигателя которого достигает 20 кВт, дробилки руды мощностью до 800 кВт, шаровые мельницы мощностью до 4000 кВт, конвейеры мощностью 250... 900 кВт и др. Агломерационные машины требуют регулируемого электропривода мощностью до 150 кВт для движения стальной ленты, на которой происходит обжиг руды. Для удаления газов в такой машине устанавливаются эксгаустеры мощностью 2500... 3300 кВт. В электроприводах эксгаустеров, мельниц, насосов и компрессоров, а в отдельных случаях и дробилок, широко используются синхронные двигатели. Режим работы их продолжительный.

Мощность электроприводов подъемно-транспортных машин (электрических талей; кран-балок; мостовых, консольных и козловых кранов; подъемников; лифтов; манипуляторов и др.) в значительной мере зависит от условий производства. Например, в закладном кране грузоподъемностью 5 т термического цеха мощность двигателя подъема равна 45 кВт при ПВ=45%, в то время как у обычного крана такой же грузоподъемности механического цеха она составляет всего 12 кВт при ПВ=25%. Подъемно-транспортные машины имеют электроприводы постоянного или переменного тока в зависимости от требований производства, причем обычные приводы постоянного тока заменяются системами Г—Д и ТП—Д или электроприводами переменного тока. Режим работы подъемно-транспортных машин — повторно-кратковременный с ПВ=15... 60%.

Мощность электроприводов переменного тока поточно-транспортных систем, состоящих из различных конвейеров, погрузочных и других механизмов, не превышает 20... 55 кВт. В горнодобывающей промышленности сборные ленточные конвейеры оборудуются электроприводом, выполненным по схеме регулируемого вентильного каскада. Режим работы их продолжительный.

Электроприводы компрессорных установок зависят от типов применяемых компрессоров. В небольших по подаче установках любых давлений используются поршневые компрессоры с приводом от тихоходных (94... 187 об/мин) синхронных двигателей мощностью от 50 до 4000... 9000 кВт. В установках большой подачи при давлении до 0,6... 0,8 МПа применяются турбокомпрессоры мощностью 700... 18 000 кВт с приводом от быстроходных синхронных двигателей.

В компрессорных установках газопроводов при переменном режиме расхода газа требуется регулировать частоту вращения компрессоров, для чего используются асинхронные двигатели мощностью до 4500 кВт с вентильным каскадом, обеспечивающим регулирование частоты вращения в пределах 100... 70%.

Насосы для перекачки различных жидкостей имеют мощность от долей киловатта (подача смазки, реактивов и пр.) до 12,5 МВт (с вертикальным валом для промышленного водоснабжения). В установках большой подачи с переменным расходом для

снижения удельного расхода энергии на единицу перекачиваемой жидкости необходимо регулирование частоты вращения насосов, вследствие чего электропривод выполняется по каскадным схемам.

В связи с интенсификацией тепловых процессов, особенно с развитием атомной энергетики, потребовались насосные установки для перекачки жидких горячих металлов (натрия, калия и их сплавов), используемых в качестве теплоносителя, в том числе для передачи тепла из радиоактивной зоны в расположенные в нормальной зоне теплообменники. К этим установкам предъявляются весьма жесткие требования из-за недопустимости радиоактивных утечек. Одно из решений этой проблемы было достигнуто применением экранированных электродвигателей мощностью 0,5... 1200 кВт. Однако полная герметизация таких установок была осуществлена лишь с помощью электромагнитных насосов постоянного и переменного тока, построенных по принципу электродвигателей, роль обмотки в которых играет движущийся в магнитном поле жидкий металл.

Электромагнитный насос постоянного тока (рис. 2.2) состоит из электромагнита, между полюсами 2 и 5 которого проходит труба 3 с жидким металлом 1. Поперек трубы пропускается постоянный ток 4, вследствие чего в жидком металле, находящемся под магнитом, появляется электродинамическая сила,двигающая металл вдоль трубы. Пуск такого насоса аналогичен пуску обычного двигателя постоянного тока; здесь также необходим пусковой реостат до создания противо-э. д. с. в двигающемся металле. К. п. д. насосов составляет 15... 20% для малых и 40... 50% для больших единиц. Недостатком их является необходимость питания напряжением 0,5... 2,5 В, создаваемым униполярными генераторами, при силе тока от десятков до 300 кА.

В электромагнитном насосе переменного тока используется принцип работы асинхронной машины: жидкий металл здесь находится в трубах, являющихся обмоткой ротора; электродинамическая сила, передаваемая индукционным путем от статора, вызывает соответствующее движение металла. Такие индукционные насосы бывают двух типов — *спиральные* и *плоские линейные*. Ротор

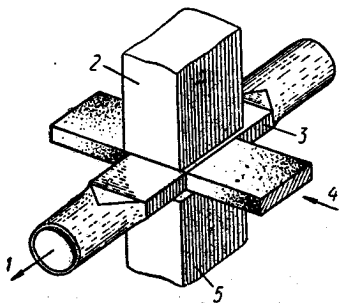


Рис. 2.2. Электромагнитный насос постоянного тока

первых выполняется из спиральных труб; в них жидкий металл получает вращательно-поступательное движение. Плоские электромагнитные насосы состоят из развернутого на плоскость трехфазного статора и ряда труб с жидким металлом, в которых бегущее магнитное поле статора создает электродинамическую силу,двигающую металл вдоль труб. К. п. д. таких насосов достигает 45%. Питаются они от обычной сети трехфазного тока стандартным напряжением.

Электромагнитные насосы успешно

применяются также в производствах, требующих снабжения жидким оловом, например в радиотехнической промышленности при пайке печатных схем; используются для перекачки хлоридных расплавленных солей в электролизные ванны, подачи сплавов алюминия в машины для литья под давлением, подачи жидкого чугуна от электропечей к формам и т. д.

Электропривод вентиляторов имеет широкий диапазон мощностей, начиная от десятков ватт. Самые мощные вентиляторы устанавливаются в аэродинамических трубах, где испытываются космические корабли, модели и даже самолеты при скорости воздуха до 15 000 м/с; мощность таких вентиляторов достигает десятков мегаватт. Рекордная установка состоит из электродвигателей мощностью $2 \times 61 + 2 \times 18,5 = 159$ МВт, причем двигатель мощностью 61 МВт является самым мощным в мире. Частота вращения вентиляторов аэродинамических труб регулируется от нуля до номинальной, для чего применяются специальные асинхронно-синхронные каскады и частотное регулирование.

Режим работы электроприводов компрессоров, насосов и вентиляторов продолжительный, за исключением специальных приводов, работающих кратковременно.

Широкое применение общепромышленных механизмов в народном хозяйстве, их важная роль в механизации и автоматизации производственных процессов вызывают необходимость более подробного рассмотрения отдельных вопросов электропривода типовых промышленных установок.

2.2. МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Работа электропривода определяется действием двух факторов: момента, развиваемого двигателем, и момента нагрузки, зависящего от конструкции рабочей машины и особенностей производственного процесса. Все рабочие машины по характеру изменения момента нагрузки могут быть разделены на несколько основных групп.

Первая группа включает в себя рабочие машины, момент нагрузки которых не зависит от скорости машины и при ее изменении остается постоянным или практически постоянным ($M_{ст} = \text{const}$). К этой группе относятся подъемные краны, лебедки, поршневые компрессоры, ленточные конвейеры при постоянном грузе на ленте и ряд других механизмов, преобладающим моментом нагрузки которых является момент трения (рис. 2.3, а).

Вторую группу составляют рабочие машины, момент нагрузки которых является функцией скорости: $M_{ст} = f(\omega)$. Эта зависимость в общем виде может быть представлена выражением

$$M_{ст} = M_0 + (M_{ном} - M_0)(\omega/\omega_{ном})^a, \quad (2.1)$$

где M_0 — момент нагрузки при нулевой скорости (неподвижной машине); $M_{ном}$ — то же, при номинальной скорости машины; a —

коэффициент, характеризующий изменение момента нагрузки при увеличении скорости машины ($0 < \alpha < 2$). К данной группе относятся: устройства центробежного действия, например вентиляторы, центробежные насосы и компрессоры, а также центрифуги, момент нагрузки которых пропорционален квадрату их скорости (кривая 1 на рис. 2.3, б); электропривод генератора независимого возбуждения (прямая 2 на рис. 2.3, б); металлорежущие станки (кривая 3 на рис. 2.3, б).

Третья группа охватывает рабочие машины, момент нагрузки которых является функцией угла φ поворота вала двигателя: $M_{ст} = f(\varphi)$. К этой группе относятся все машины с кривошипно-ползунными или эксцентриковыми механизмами (поршневые насосы и компрессоры, качающиеся конвейеры), сопротивление движению которых периодически изменяется в зависимости от угла (рис. 2.3, в). Сюда же можно отнести шахтные подъемные машины с барабанами переменного радиуса навивки, подъемные установки без уравновешивающего каната и вагоноопрокидыватели, момент нагрузки которых изменяется так, как показано на рис. 2.3, г.

В четвертую группу входят рабочие машины, момент нагрузки которых зависит одновременно от скорости и пути: $M_{ст} = f(\omega, L)$. Примером таких машин является рельсовый электрический транспорт. Сопротивление движению подвижного состава (рис. 2.3, д) зависит одновременно от сопротивления воздуха, пропорционального скорости движения [$M'_{ст} = f(\omega)$], и сил сопротивления, зависящих от профиля трассы, т. е. от пройденного пути [$M''_{ст} = f(L)$].

Пятая группа охватывает рабочие машины, момент нагрузки которых зависит от ряда технологических факторов, изменяющихся случайно во времени (рис. 2.3, е). К данной группе относятся прежде всего машины для резания и разрушения горных пород, например экскаваторы, машины для вращательного бурения, дро-

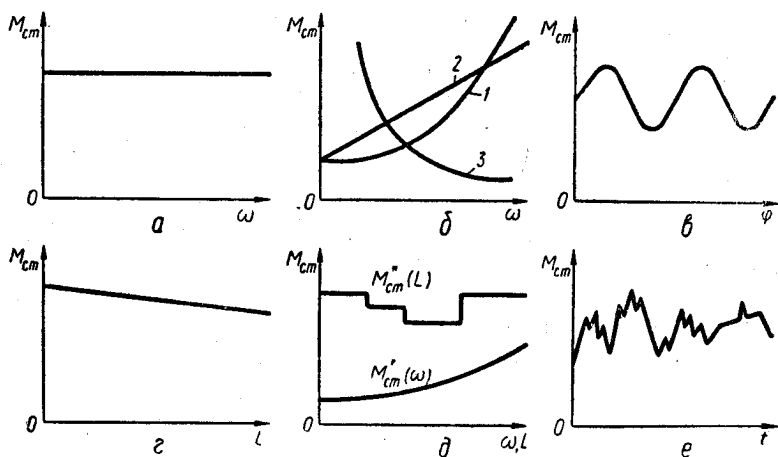


Рис. 2.3. Графики изменения момента нагрузки различных рабочих машин

билки, скребковые конвейеры и др. Расчет моментов нагрузки таких машин производится по усредненным нагрузкам, полученным на основании статистических данных.

Рабочие свойства электродвигателя определяются его *механической характеристикой*. Механические характеристики электродвигателей большинства типов имеют спадающий характер. Это связано с тем, что двигатель уменьшает частоту своего вращения с увеличением развиваемого им момента и повышает ее при снижении последнего. По степени изменения угловой скорости при изменении момента различают три типа механических характеристик двигателей (рис. 2.4):

1. *Абсолютно жесткая характеристика* (прямая 1), при которой угловая скорость с изменением вращающего момента двигателя не меняется. Такую характеристику имеют синхронные двигатели.

2. *Жесткая характеристика*, когда угловая скорость при изменении нагрузки меняется относительно слабо, в пределах 1,5... 15% номинальной скорости при изменении вращающегося момента двигателя от 0 до $M_{ном}$. Такими характеристиками обладают двигатели постоянного тока независимого и параллельного возбуждения (прямая 2) и асинхронный двигатель (кривая 3).

3. *Мягкая характеристика*, для которой характерным является значительное изменение угловой скорости при изменении вращающегося момента двигателя (кривая 4). Такая характеристика свойственна двигателям постоянного тока последовательного возбуждения.

По характеру движения механической части электропривода различают *переходный* и *установившийся* режимы его работы. Переходный режим постоянно связан с изменениями скоростей движения масс электропривода и поэтому всегда является динамическим процессом. Установившийся режим работы электропривода в зависимости от характера приложенного к системе воздействия может быть либо *статическим*, либо *динамическим*. Если все действующие в механической части электропривода силы и моменты сопротивления постоянны ($M_{ст} = const$), а момент двигателя полностью уравновешивает их ($M = M_{ст} = const$), то после затухания

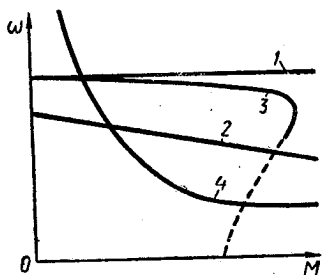


Рис. 2.4. Механические характеристики электродвигателей

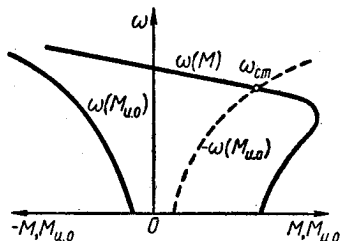


Рис. 2.5. Графическое определение режима работы электропривода

свободной составляющей переходного процесса наступает установившийся статический режим работы электропривода, при котором его скорость неизменна ($d\omega/dt=0$). В случаях, когда возмущающее воздействие $M_{ст}$ содержит периодически меняющуюся во времени составляющую (см. рис. 2.3, *e*), после затухания переходного процесса наступает установившийся динамический режим принужденного движения с колебательной составляющей, обусловленной изменениями нагрузки.

Режим работы электропривода легко определить графически (рис. 2.5). Для этого на общем графике изображают механическую характеристику двигателя $\omega(M)$ и механическую характеристику рабочей машины, момент которой $M_{н.о}$ берут с противоположным знаком, т. е. $-\omega(M_{ст})$. Тогда точка пересечения $\omega_{ст}$ этих кривых соответствует установившемуся режиму работы электропривода. Ниже этой точки происходит ускорение привода, выше — замедление.

Как указывалось выше, момент нагрузки рабочей машины в ряде случаев изменяется независимо от ее скорости. Поэтому установившийся режим работы электропривода в данном случае может отсутствовать.

С энергетической точки зрения режимы работы электропривода можно разделить на двигательные и тормозные, отличающиеся направлением движения потока энергии через механические передачи привода.

Под *двигательным* понимается режим, при котором двигатель развивает движущий момент

$$P = M\omega. \quad (2.2)$$

Механические характеристики для этого режима в координатах $\omega - M$ размещают в I квадранте (рис. 2.6).

Если изменить направление вращения двигателя, то по отношению к прежнему направлению знаки момента и скорости изменятся на обратные, а мощность останется положительной:

$$P = (-M)(-\omega) = M\omega > 0. \quad (2.3)$$

Механические характеристики для данного режима располагают в III квадранте.

Таким образом, за исключением осей координат, любая точка квадрантов I и III, где знаки скорости и момента одинаковы, соответствует работе, совершаемой двигателем ($M\omega > 0$). Двигатель при этом преобразует электрическую энергию в механическую. Наоборот, точки квадрантов II и IV, где знаки скорости и момента различны, относятся к потреблению двигателем механической энергии [$P = (-M) \times \omega < 0$]. В этом случае двигатель пре-

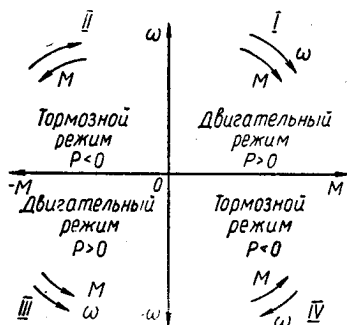


Рис. 2.6. Области возможных режимов работы электропривода в координатах $\omega - M$

образует механическую энергию в электрическую и развивает тормозной момент. Такой режим его работы называется *тормозным* (или *генераторным*).

Для практических расчетов мощности двигателя по условиям нагрева в зависимости от характера и продолжительности его работы ГОСТ 183—74 предусматриваются восемь режимов, которые в соответствии с международной классификацией имеют условные обозначения S1...S8:

1. *Продолжительный режим* (S1) характеризуется продолжительностью работы двигателя, при которой его температура успевает достичь установившегося значения.

2. *Кратковременный режим* (S2) характеризуется непродолжительной нагрузкой, за время которой температура двигателя не достигает установившегося значения, а период остановки настолько продолжителен, что двигатель успевает полностью охладиться до температуры окружающей среды.

3. *Повторно-кратковременным* (S3) называется режим, при котором кратковременные периоды работы чередуются с периодами отключения (паузами) двигателя. При этом за время работы он не успевает достичь установившейся температуры, а за время последующей паузы не успевает охладиться до температуры окружающей среды. Продолжительность цикла (суммарное время работы t_p и паузы t_o) не должна превышать 10 мин. Повторно-кратковременный режим характеризуется *относительной продолжительностью включения* ПВ (%), под которой понимается отношение времени работы ко времени цикла:

$$\text{ПВ} = \frac{t_p}{t_p + t_o} \cdot 100 = \frac{t_p}{t_{\text{ц}}} \cdot 100.$$

Нормируемые значения ПВ = 15, 25, 40 и 60%, или $\varepsilon = t_p/t_{\text{ц}} = 0,15; 0,25; 0,4; 0,6$.

4. *Повторно-кратковременным режимом работы с частыми пусками* (S4) называется режим, при котором, в отличие от режима S3, пусковые потери существенно влияют на превышение температуры частей двигателя.

5. *Повторно-кратковременным режимом работы с частыми пусками и электрическим торможением* (S5) называется режим, при котором периоды пуска, кратковременной нагрузки и электрического торможения чередуются с периодами отключения двигателя, причем как рабочие периоды, так и паузы не настолько длительны, чтобы превышения температуры его частей могли достигнуть установившихся значений. В этом режиме пусковые потери и потери при электрическом торможении значительно влияют на превышение температуры частей двигателя.

6. *Перебегающий режим* (S6) отличается от повторно-кратковременного (S3) тем, что после периода работы двигатель не отключается, а продолжает работать вхолостую.

7. *Перебегающим режимом работы с частыми реверсами* (S7) называется режим, при котором периоды реверса чередуются

с периодами номинальной нагрузки, причем периоды нагрузки не настолько длительны, чтобы превышения температуры частей двигателя могли достигнуть установившихся значений. Потери при реверсировании в этом режиме оказывают существенное влияние на нагрев двигателя, который работает без остановки, находясь постоянно под напряжением.

8. *Переменяющимся режимом работы с двумя и более частотами вращения (S8)* называется режим, при котором периоды с одной нагрузкой на одной частоте вращения чередуются с периодами работы двигателя на другой частоте вращения при соответствующей ей нагрузке. Периоды работы на каждой из частот вращения не настолько длительны, чтобы температура нагрева машины могла достичь установившегося значения.

Режимы S1, ..., S3 являются в настоящее время основными, номинальные данные которых включаются в паспорт двигателя и каталоги.

Часто в практике расчетов электропривода электровозов, шахтных врубовых машин и добычных комбайнов наряду с номинальной мощностью двигателя используется понятие *часовой мощности*. Оно вводится в том случае, когда двигатель, предназначенный для продолжительного режима работы, используется в кратковременном режиме. *Часовым* называется такой режим, при котором температура двигателя за 60 мин его работы достигает максимального значения, допустимого для данного класса изоляции. Другими словами, это частный случай кратковременного режима, когда продолжительность нагрузки равна 60 мин.

2.3. ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПО ТЕХНИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ

Выбор электродвигателя имеет большое экономическое значение, так как от правильности его выбора зависят производительность рабочей машины, энергетические показатели и надежность работы всего электропривода.

Первым условием выбора двигателя является соответствие между его мощностью и мощностью рабочей машины. Однако и при заданных мощности и скорости на валу при выборе двигателя необходимо учитывать такие его параметры и показатели, как род тока, номинальное напряжение, вид естественной механической характеристики, пусковые и тормозные качества, особенности регулирования угловой скорости в двигательном и тормозном режимах работы, конструктивное исполнение и т. д.

Для электропривода промышленных установок следует выбирать наиболее простой по устройству и управлению двигатель, надежный в эксплуатации и имеющий высокие технико-экономические показатели. Вместе с тем двигатель должен полностью удовлетворять требованиям технологического процесса.

Наиболее простыми в этом отношении являются асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором. Их масса на единицу

мощности в 1,5... 2 раза ниже, чем двигателей постоянного тока. По сравнению с последним асинхронные двигатели имеют еще и то преимущество, что питание их осуществляется непосредственно от сети трехфазного тока. Для них не требуются также сложные и дорогие устройства, преобразующие переменный ток в постоянный.

Наличие указанных положительных качеств асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором позволяет использовать их во многих отраслях народного хозяйства: в промышленности, сельском хозяйстве, на транспорте и т. д. Чаще всего они применяются при небольшой частоте включений, когда не требуется регулирование скорости рабочей машины или возможно ступенчатое ее регулирование. Перспективными являются и установки с глубоким регулированием скорости асинхронных короткозамкнутых двигателей при частотном управлении.

В установках, где требуются регулирование скорости в относительно небольших пределах, плавный пуск, хорошие тормозные качества, ограничение токов в переходных процессах и т. д., широко применяются асинхронные двигатели с фазным ротором. Характерной особенностью этих двигателей является возможность уменьшения с помощью пусковых реостатов их пусковых токов при одновременном увеличении пускового момента. Потери энергии за время переходных процессов в обмотках статора и ротора двигателей с фазным ротором значительно меньше, чем у двигателей с короткозамкнутым ротором. Это позволяет использовать двигатели с фазным ротором в электроприводе механизмов, работа которых связана с частыми пусками и остановками.

Недостаток асинхронных двигателей с фазным ротором состоит в том, что при обычной схеме их включения не представляется возможным получить жесткие механические характеристики на пониженных угловых скоростях в двигательном и тормозном режимах работы. Специальные схемы, используемые для достижения этой цели, в ряде случаев приводят к дополнительным потерям электроэнергии.

В установках, где предъявляются жесткие требования в отношении регулирования скорости и качества переходных процессов, а также работающих в режимах с частыми пусками и остановками, применяются двигатели постоянного тока. Их применение связано с использованием устройств, преобразующих переменный ток в постоянный (системы Г—Д, Г—Д с МУ, Г—Д с ЭМУ, Г—Д с ТВ, ТП—Д и др.). В зависимости от требований в отношении диапазона регулирования и характера статического момента на валу в электроприводе промышленных установок используются двигатели постоянного тока независимого, последовательного или смешанного возбуждения.

Выбор системы электропривода должен быть тщательно обоснован путем технико-экономического анализа возможных вариантов электропривода.

Очевидно, двигатель должен быть выбран в соответствии с напряжением заводской сети. Для вновь строящихся предприятий выбор напряжения питания двигателей решается совместно с выбором напряжений для всего предприятия в целом путем технико-экономического сравнения нескольких вариантов электроснабжения. Наиболее распространенным напряжением асинхронных двигателей малой и средней мощностей является 220/127, 380/220 и 660 В. Асинхронные и синхронные двигатели средней и большой мощностей выпускаются на напряжение 3000, 6000 и 10 000 В, а двигатели постоянного тока — на напряжение 220 и 440 В. В некоторых случаях двигатели постоянного тока выполняются на нестандартное напряжение 330 В и 600...900 В.

Выбор номинальной частоты вращения двигателя при использовании типового редуктора производится по известному передаточному отношению и заданной скорости рабочей машины. Выбор номинальной скорости и передаточного отношения вновь проектируемого электропривода должен производиться путем технико-экономического сравнения нескольких вариантов. Особое внимание следует уделять выбору номинальной частоты вращения двигателя и передаточного отношения редуктора в случае напряженного режима работы электропривода с частыми пусками и остановками, так как от этих величин зависит продолжительность переходных процессов, что в ряде случаев определяет производительность рабочей машины.

При выборе двигателя необходимо учитывать также особенности его конструкции, а именно: способ крепления, соединение с другими механизмами и т. п. В большинстве промышленных установок применяются двигатели с горизонтальным расположением вала и лапами для крепления к несущим конструкциям. В некоторых общепромышленных механизмах используются двигатели с вертикальным расположением вала. Такие двигатели устанавливаются, например, в электроприводе поворотных механизмов экскаваторов и подъемных кранов, насосах и компрессорах некоторых типов. Для создания более совершенных форм механизмов и уменьшения их размеров электротехническая промышленность выпускает встраиваемые двигатели, которые не имеют станины, подшипниковых щитов, а иногда и вала. Монтируются они в корпусах производственных механизмов и в ряде случаев непосредственно выполняют функции исполнительных органов.

Важной задачей является и выбор двигателя с учетом работы в определенных условиях окружающей среды. Зачастую окружающая среда, в которой работает двигатель, содержит большое количество пыли, влаги, газов, паров химических веществ и взрывоопасные смеси. Наличие пыли в окружающей среде приводит к быстрому загрязнению обмоток и ухудшению условий теплоотдачи двигателя. Влага, газы, пары кислот ухудшают изоляционные свойства материалов его обмоток. Поэтому при изготовлении двигателей предусматриваются меры и средства, снижающие вредное воздействие окружающей среды. По степени защиты от

воздействия окружающей среды различают двигатели открытого, защищенного, закрытого и взрывобезопасного исполнений.

Открытые двигатели не имеют защитных приспособлений, препятствующих соприкосновению с их вращающимися и токоведущими частями, а также попаданию внутрь двигателя посторонних предметов.

Защищенные двигатели делятся на три категории:

1. Защищенные от случайного соприкосновения с токоведущими частями и от попадания посторонних тел внутрь двигателя.
2. Защищенные от попадания капель сверху.
3. Защищенные от дождя и брызг.

У двигателей первой категории имеются защитные приспособления в виде коробов, решеток и сеток. Двигатели второй категории снабжены устройствами, предохраняющими их от попадания внутрь капель, падающих отвесно или под углом не более 60° к вертикали, а двигатели третьей категории предохраняются от попадания внутрь брызг любого направления. Защитные устройства различного назначения не нарушают обмена воздухом между двигателями и окружающей средой. Пыль, влага и газы свободно проникают внутрь защищенных двигателей.

Более сложны по конструкции защитных устройств *закрытые двигатели*. Они также делятся на три категории:

1. Закрытые неventedлируемые.
2. Закрытые с независимой вентиляцией и с самовентилиацией.
3. Герметически закрытые, имеющие плотно закрытый корпус, не пропускающий внутрь двигателя влаги в течение 4 ч при полном погружении в воду.

Закрытые двигатели не имеют специальных отверстий для обмена воздухом между двигателем и окружающей средой. Некоторый обмен воздухом происходит за счет неплотностей в соединениях деталей. С улучшением герметизации двигателей увеличиваются их масса и стоимость вследствие усложнения защитных приспособлений.

Для работы в особых условиях окружающей среды изготавливаются *специальные двигатели*. Так, для работы в условиях тропического климата, характеризующегося повышенной температурой, влажностью и наличием грибковой плесени, выпускаются закрытые двигатели тропического исполнения. Для работы в химически активных средах изготавливаются закрытые двигатели химически стойкого исполнения. Двигатели специальных исполнений отличаются от обычных двигателей электроизоляционными материалами, особой пропиткой обмоток и антикоррозийными покрытиями. Но стоимость их выше.

Взрывозащищенные двигатели (см. рис. 1.10) снабжаются специальным кожухом, который может противостоять без повреждения взрыву газа внутри двигателя и не передает пламени взрыва в окружающую среду. Выпускаются также взрывозащищенные двигатели, продуваемые воздухом под избыточным давлением.

По способу вентиляции двигатели бывают *невентилируемые, с самовентиляцией и независимой вентиляцией*. Невентилируемые двигатели не имеют каких-либо специальных устройств для охлаждения. У двигателей с самовентиляцией охлаждение осуществляется вентилятором, смонтированным на валу двигателя. При закрытом исполнении вентилятор устанавливается снаружи под колпаком и обдувает ребристую поверхность двигателя. Такие двигатели называются *обдуваемыми*. Интенсивность охлаждения двигателей с самовентиляцией зависит от частоты вращения двигателя и ухудшается при ее снижении. Охлаждение двигателей при независимой вентиляции производится с помощью специального вентилятора, приводимого во вращение дополнительным двигателем.

Выбор двигателя по степени защиты от воздействия окружающей среды должен производиться с учетом условий его эксплуатации. Следует помнить, что при одной и той же мощности и частоте вращения наибольшие массу, размеры и стоимость имеют закрытые двигатели. Необоснованный выбор такого двигателя приводит к утяжелению конструкции и удорожанию всей установки. Некоторые рекомендации, относящиеся к выбору двигателя по условиям окружающей среды, даны в табл. 2.2.

Таблица 2.2. Выбор двигателя с учетом воздействия окружающей среды

Окружающая среда	Рекомендуемое исполнение двигателя
Сухое помещение без пыли, грязи и газов	Открытое
То же, но с опасностью попадания крупных и мелких предметов	Защищенное; открытое с добавочной сеткой
Пыльное или влажное помещение	Закрытое с вентиляцией по трубопроводам чистым воздухом
Открытый воздух	Закрытое; защищенное от дождя и брызг; закрытое в тропическом варианте
Помещение с высокой температурой и влажностью	Закрытое в тропическом варианте; закрытое с независимой вентиляцией
Помещение с высокой влажностью или содержащее едкие газы	Герметически закрытое; закрытое с вентиляцией чистым воздухом
Взрывоопасное помещение	Взрывозащищенное

Пользуясь изложенными выше рекомендациями по выбору двигателя с учетом всех рассмотренных факторов и исходя из требований удобства и безопасности обслуживания, а также экономических соображений, по справочникам можно подобрать необходимый двигатель. Для удобства выбора в табл. 2.3 указаны наиболее часто применяющиеся серии и типы двигателей, используемых в электроприводе типовых промышленных установок.

Таблица 2.3. Серии и типы двигателей, применяющихся в электроприводе типовых промышленных установок

Наименование электропривода	Серия и тип двигателей	
	переменного тока	постоянного тока
Электропривод механизмов кранов	МТ, МТВ, МТМ, МТКН, КО, К, МТЕ, МТК, МТН, ВКр	ДП, ДПВ, ДПП, Д
Электропривод экскаваторов:		
главный	АОЭ, АЭ, СДЭ	ДПЭ, МПЭ, ДПМ, ДПВ, ПЭ, ПЭВ, МПВ
вспомогательный	А, АО, АС, АП, АМЭК	П
Электропривод лифтов	А, АС, АСШ, АК, АСМ, Т	МПЛ, П
Электропривод конвейеров	А, АО, АК, АОК, АС, АОС, АП, АОП, МА, КО, КОМ	
Электропривод эскалаторов	АК, АКЭ, АП	—
Электропривод центробежных насосов, вентиляторов, компрессоров, нагнетателей:		
малой мощности	А, АО, АК, АС, АОС, АП, АОП, АОЛШ, АЛШ, АШ, Д, ДА, КО, МА, РО, ПЭД, МАПЗ	—
средней »	А, АО, АЗ, ДАЗО, АК, АКЗ, ДДП, ДВЛА, ВДД, ДАД, АН, АВ, ВАН, ВДН, АКН, СД, СДЗ, ДС, МАПЗ	П
большой »	ДАФ, ДАФЗ, АТД, ДА, ДАЗ, АН, АКН, ВДН, ВАН, ВДС, ДСП, СДН, СДНЗ, ВСДН, СТМ, СТМП	П, МП
Электропривод поршневых насосов и компрессоров:		
малой мощности	А, АО, АК, АС, АП, АОС, АОП	—
средней »	АК, АКЗ, АО, ДАЗО, ДС, ДСЗ	
большой »	ДАФ, ДАФЗ, АКН, ДС, ДСЗ	ДП, ДПП, МП, П
Электропривод шахтных подъемных машин	ДАЗО, АТ, АТК, АКН, МАРП	—

2.4. ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПО МОЩНОСТИ

Мощность двигателя выбирается в строгом соответствии с ожидаемой нагрузкой и режимом работы электропривода. Выбор двигателя завышенной мощности приводит к повышенному расходу электроэнергии (вследствие снижения его к. п. д. и коэффициента мощности), увеличению установленной мощности трансформаторов,

преобразователей и к росту капитальных затрат. Выбор электродвигателя недостаточной мощности обуславливает увеличение токов в его обмотках, а значит, и потерь мощности выше соответствующих номинальных значений, что может привести к перегреву двигателя, опасной пробоя изоляции обмоток и выходу двигателя из строя. Поэтому выбор двигателя надо производить таким образом, чтобы максимальная температура изоляции его обмоток не превышала допустимое значение.

Многие машины и механизмы работают при переменной нагрузке, сопровождающейся кратковременными толчками (тока, момента), намного превышающими номинальное значение. Развиваемый двигателем максимальный момент должен быть достаточным для преодоления этих пиков нагрузки, а толчки тока не должны вызывать недопустимого искрения на коллекторе двигателя постоянного тока.

Таким образом, выбор мощности двигателя должен производиться по условиям допустимого нагрева с последующей проверкой его по перегрузочной способности.

Наиболее просто производится выбор мощности двигателей, работающих в продолжительном режиме с постоянной нагрузкой. Такой режим работы характерен для электроприводов насосов, вентиляторов, турбокомпрессоров и некоторых других промышленных установок. В этом случае мощность двигателя должна быть больше или близка мощности, полученной по нагрузочной диаграмме двигателя:

$$P_{\text{ном}} \geq P_{\text{ст.}} \quad (2.4)$$

Сопротивления движению исполнительных органов рабочей машины на нагрузочной диаграмме могут быть выражены через момент $M_{\text{ст}}$, ток I , усилие $F_{\text{ст}}$ и мощность $P_{\text{ст}}$. Тогда, в зависимости от данных нагрузочной диаграммы, расчетную мощность двигателя (кВт) можно определить по формуле

$$P_{\text{ст}} = \frac{M_{\text{ст}} \omega}{100} = \frac{M_{\text{ст}} \cdot 2\pi n}{60 \cdot 100} = \frac{M_{\text{ст}} n}{955}, \quad (2.5)$$

где $M_{\text{ст}}$ — статический момент сопротивления, даН·м; ω — угловая скорость двигателя, рад/с; n — частота вращения двигателя, об/мин. Формула (2.5) может быть записана и так:

$$P_{\text{ст}} = \frac{F_{\text{ст}} v}{102 \eta_y}, \quad (2.6)$$

где $F_{\text{ст}}$ — сила статического сопротивления движению, даН; v — установившаяся скорость движения, м/с; η_y — к. п. д. установки.

Выражение силы в деканьютонах (даН) удобнее, чем в ньютонах (Н), поскольку 1 даН практически равен 1 кгс, и все нормативы допускаемых нагрузок, удельных сопротивлений и других величин, приводимые в литературе, численно остаются без изменений (1 кгс = 9,81 Н).

С использованием электрических величин формула (2.6) принимает вид:

для двигателя постоянного тока

$$P_{ст} = \frac{UI\eta}{1000}, \quad (2.7)$$

где U — напряжение, подведенное к двигателю, В; I — ток, потребляемый двигателем, А; η — к. п. д. двигателя;

для двигателя трехфазного переменного тока

$$P_{ст} = \frac{\sqrt{3}UI\eta \cos \varphi}{1000}, \quad (2.8)$$

где $\cos \varphi$ — коэффициент мощности двигателя.

После выбора двигателя необходимо произвести проверку его пригодности по пусковому моменту, так как максимальный момент при трогании $M_{ст \max}$ многих механизмов значительно превышает пусковой $M_{п}$. При этом должно выполняться условие $M_{п} > M_{ст \max}$.

Выбор мощности двигателя, работающего в продолжительном режиме, но с переменной нагрузкой, усложняется, так как температура двигателя непрерывно меняется и не должна превышать допустимую. Мощность двигателя для такого режима работы (рис. 2.7) определяются по методу средних потерь или по методу эквивалентных величин (тока, момента и мощности). Эти методы позволяют проверить предварительно выбранный двигатель по условиям его нагрева и различаются между собой только методикой данной проверки.

Метод средних потерь является универсальным и наиболее точным, однако применение его не всегда возможно, поскольку во многих случаях отсутствуют необходимые данные для расчета потерь. Поэтому на практике он используется редко.

Предварительно двигатель выбирается на основании данных проектирования и эксплуатации аналогичных электроприводов или по средней мощности (рис. 2.7)

$$P_{пр} = k P_{ср} = k \frac{\sum P t}{\sum t} = k \frac{P_1 t_1 + P_2 t_2 + \dots + P_n t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}, \quad (2.9)$$

где $k = 1, 1 \dots 1, 3$ — коэффициент запаса.

Зная мощность $P_{пр}$, по каталогу можно подобрать двигатель с номинальной мощностью $P_{ном}$, удовлетворяющий условию $P_{ном} \geq P_{пр}$, а затем с помощью одного из методов проверить его по нагреву.

При использовании метода эквивалентного тока изменяющийся ток нагрузки заменяют таким расчетным постоянным по значению током $I_{эк}$, который, протекая по

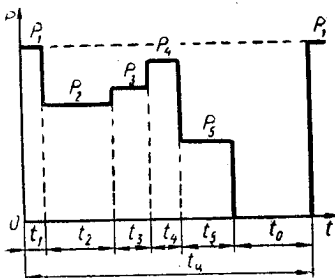


Рис. 2.7. Нагрузочная диаграмма электродвигателя при работе в продолжительном режиме с переменной нагрузкой

обмоткам двигателя, выделяет в нем такое же количество теплоты, что и реальный ток. Этот ток, называемый *эквивалентным*, находят из уравнения средних потерь.

Так как потери в двигателе состоят из постоянных потерь Δp_0 , не зависящих от нагрузки, и переменных потерь, пропорциональных сопротивлению его обмоток и квадрату тока, выражение средних потерь можно записать в виде

$$\Delta p_{cp} = \Delta p_0 + I_{эк}^2 R = \frac{(\Delta p_0 + I_1^2 R) t_1 + (\Delta p_0 + I_2^2 R) t_2 + \dots + (\Delta p_0 + I_n^2 R) t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}. \quad (2.10)$$

Раскрыв в числителе скобки и сократив обе части равенства на R , получим значение эквивалентного тока

$$I_{эк} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}. \quad (2.11)$$

При пониженной частоте вращения, а также во время пауз теплоотдача двигателя ухудшается, что учитывают при определении эквивалентного тока следующей формулой:

$$I_{эк} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + I_3^2 t_3}{\alpha(t_1 + t_3) + t_2 + \beta t_0}}, \quad (2.12)$$

где t_1 и t_3 — времена разгона и торможения; t_2 — время работы двигателя с номинальным моментом; t_0 — время паузы; α и β — постоянные коэффициенты, отражающие ухудшение условий охлаждения двигателя: для асинхронных двигателей $\alpha = 0,5$ и $\beta = 0,25$, а для двигателей постоянного тока $\alpha = 0,75$ и $\beta = 0,5$.

Найденный эквивалентный ток сравнивают с номинальным током предварительно выбранного двигателя. Двигатель выбран правильно, если выполняется условие $I_{ном} \geq I_{эк}$.

Таким образом, для определения $I_{эк}$ необходимо иметь только график $I = f(t)$.

Метод эквивалентного тока, благодаря своей простоте, получил исключительно широкое применение при расчете мощности двигателя в различных режимах его эксплуатации.

Обычно при выборе мощности двигателя приходится иметь дело с диаграммой моментов, получаемой в результате расчета механических переходных процессов. В таком случае можно воспользоваться непосредственно диаграммой моментов без перехода к диаграмме тока, если между током и моментом предварительно выбранного двигателя существует прямо пропорциональная зависимость. Формула для определения *эквивалентного момента* имеет такой же вид, как и формула (2.11):

$$M_{эк} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + \dots + M_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}. \quad (2.13)$$

Двигатель при этом будет выбран правильно, если удовлетворяется неравенство

$$M_{\text{ном}} \geq M_{\text{эк}}, \quad (2.14)$$

где $M_{\text{ном}}$ — номинальный момент предварительно выбранного двигателя.

Если при изменении нагрузки частота вращения двигателя остается постоянной или изменяется незначительно, то развиваемый им момент пропорционален мощности двигателя. В этом случае при выборе двигателя можно воспользоваться диаграммой $P=f(t)$ мощности на валу двигателя и определить эквивалентную мощность по формуле

$$P_{\text{эк}} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \dots + P_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}. \quad (2.15)$$

При правильном выборе двигателя должно выполняться условие

$$P_{\text{ном}} \geq P_{\text{эк}}. \quad (2.16)$$

Методы эквивалентных момента и мощности применяются при выборе двигателей постоянного тока параллельного и независимого возбуждения, работающих с неизменным магнитным потоком, а также асинхронных двигателей с фазным ротором при незначительном изменении нагрузки и синхронных двигателей. При выборе асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором ими можно пользоваться только в случае редких пусков.

Методы эквивалентных момента и мощности используют главным образом в расчетах, не требующих большой точности, а также при предварительном выборе двигателя методами эквивалентного тока или средних потерь. Эти методы совершенно неприменимы при выборе двигателей постоянного тока последовательного возбуждения.

Формулы для определения эквивалентных тока, момента и мощности получены исходя из ступенчатого графика нагрузки, что позволяет в пределах каждой его ступени рассматриваемую величину считать постоянной. Очень часто нагрузочные диаграммы имеют более сложную форму. В этих случаях расчеты можно значительно упростить, если действительную кривую нагрузки заменить ломаной линией и воспользоваться некоторыми вспомогательными формулами для вычисления эквивалентных величин.

Пусть имеется график непрерывной функции тока от времени (рис. 2.8). Заменяем его отрезками прямых, как показано на рисунке. В результате замены ломаная линия даст график, состоящий из треугольника, двух прямоугольников и трапеции. Не приводя доказательства, укажем, что эквивалентный ток для трапеции со значениями тока I_2 и I_3 можно рассчитать по формуле

$$I_{\text{эк } 2, 3} = \sqrt{\frac{I_2^2 + I_2 I_3 + I_3^2}{3}}, \quad (2.17)$$

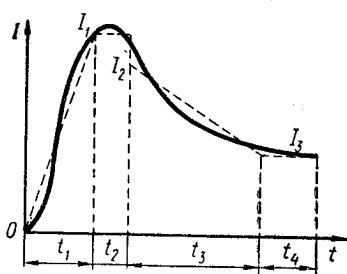


Рис. 2.8. Замена зависимости $I = f(t)$ ломаной линией

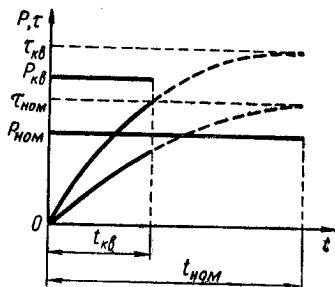


Рис. 2.9. Нагрузочная диаграмма и кривые нагрева двигателя при кратковременном и продолжительном режимах его работы

а для треугольника со значением тока I_1 — по формуле

$$I_{\text{эк}1} = \sqrt{I_1^2/3} = I_1/\sqrt{3}. \quad (2.18)$$

Эквивалентный ток для всего графика функции определится выражением

$$I_{\text{эк}} = \sqrt{\frac{I_{\text{эк}1}^2 t_1 + I_2^2 t_2 + I_{\text{эк}2,3}^2 t_3 + I_3^2 t_4}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}}. \quad (2.19)$$

Подставив сюда значения $I_{\text{эк}1}$ и $I_{\text{эк}2,3}$ из (2.17) и (2.18), получим

$$I_{\text{эк}} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1/3 + I_2^2 t_2 + (I_2^2 + I_2 I_3 + I_3^2) t_3/3 + I_3^2 t_4}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}}. \quad (2.20)$$

Выбранный двигатель подлежит обязательной проверке во всех случаях, когда имеются кратковременные перегрузки. Она заключается в сравнении максимального момента или тока при перегрузках с допустимыми значениями. При этом должны выполняться условия

$$M_{\text{max}}/M_{\text{ном}} \leq \lambda_m; \quad I_{\text{max}}/I_{\text{ном}} \leq \lambda_i, \quad (2.21)$$

где M_{max} и I_{max} — максимальные расчетные значения момента и тока; $M_{\text{ном}}$ и $I_{\text{ном}}$ — номинальные значения момента и тока выбранного двигателя; λ_m и λ_i — каталожные значения перегрузочной способности двигателя по моменту и току.

Учитывая возможное снижение напряжения при эксплуатации асинхронных двигателей, допустимую перегрузочную способность по моменту следует принимать несколько меньше каталожной:

$$\lambda_{m, \text{доп}} = 0,8 \dots 0,85 \lambda_m. \quad (2.22)$$

Значения мгновенных перегрузок по моменту для двигателей разных типов приведены в табл. 2.4.

Таблица 2.4. Значения мгновенных перегрузок электродвигателей по моменту

Тип двигателя	λ_m
Двигатель постоянного тока общего назначения	2
Специальный двигатель постоянного тока	3 ... 4
Асинхронный двигатель с фазным ротором	2 ... 2,5
То же, с короткозамкнутым ротором нормального исполнения	1,8 ... 3
То же, с короткозамкнутым ротором глубокопазым с двойной клеткой	1,8 ... 2,7
Синхронный двигатель	2 ... 2,5
	(для специальных типов до 3...4)
Коллекторный двигатель переменного тока	2 ... 3

Если выбранный двигатель условиям допустимого нагрева удовлетворяет, но не подходит по перегрузочной способности, то должен быть взят двигатель большей мощности с тем, чтобы выполнялись условия (2.21). При окончательном выборе двигателя следует иметь в виду, что его номинальная мощность не должна превышать расчетную эквивалентную мощность более чем на 5...10%.

Для кратковременного режима работы может быть выбран двигатель из серии двигателей, предназначенных для эксплуатации в продолжительном режиме работы, или из серии специальных двигателей, рассчитанных для работы в кратковременном режиме.

Если для работы в кратковременном режиме используется двигатель продолжительного режима эксплуатации, то выбор его мощности заключается в следующем.

По каталогу из серии двигателей, предназначенных для работы в продолжительном режиме, предварительно выбирают двигатель методами, описанными выше. Для выбранного двигателя с номинальной мощностью $P_{ном}$ (рис. 2.9) определяют номинальные потери в продолжительном режиме

$$\Delta p_{ном} = P_{ном} (1/\eta_{ном} - 1), \quad (2.23)$$

где $\eta_{ном}$ — к. п. д. двигателя при номинальной нагрузке в продолжительном режиме работы. Затем находят фактические потери $\Delta p_{кв}$ при работе двигателя в кратковременном режиме с мощностью $P_{кв}$:

$$\Delta p_{кв} = P_{кв} (1/\eta_{кв} - 1) \quad (2.24)$$

и допустимые потери $\Delta p_{доп. кв}$ для этого же режима работы:

$$\Delta p_{доп. кв} = \frac{\Delta p_{ном}}{1 - e^{-t_{кв}/T_n}}, \quad (2.25)$$

где T_n — постоянная времени нагрева двигателя, определяемая выражением

$$T_n = \frac{t_{кв}}{I_p \frac{\Delta p_{кв}}{\Delta p_{кв} - \Delta p_{ном}}}. \quad (2.26)$$

Двигатель считается выбранным правильно, если выполняется условие

$$\Delta p_{\text{доп. кв}} \geq \Delta p_{\text{кв.}} \quad (2.27)$$

Для работы в кратковременном режиме отечественной промышленностью выпускаются специальные электродвигатели со стандартными значениями ПВ = 15, 30, 60 и 90 мин. Чтобы правильно выбрать такой двигатель, необходимо иметь нагрузочную диаграмму, построенную с учетом статической и динамической нагрузок. Пользуясь этой диаграммой, можно определить эквивалентный ток или момент за время работы и по каталогу подобрать двигатель требуемой мощности.

Для выбора асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором строят график потерь с учетом динамической нагрузки, а мощность двигателя находят по методу средних потерь.

Методы расчета мощности двигателя, работающего в повторно-кратковременном режиме, зависят от того, для какого режима работы предназначен выбираемый тип двигателя. Рассмотрим сначала метод, когда для повторно-кратковременного режима выбран двигатель, предназначенный для продолжительного режима работы. По этому методу, пользуясь нагрузочной диаграммой, определяют эквивалентные ток или момент за цикл работы, т. е. нагрузку повторно-кратковременного режима приводят к длительному режиму работы. Например, в случае трехступенчатой нагрузочной диаграммы, состоящей из времени пуска t_1 , времени равномерной частоты вращения t_2 и времени электрического торможения t_3 , эквивалентный момент за цикл работы рассчитывают по формуле

$$M_{\text{эк}} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + M_3^2 t_3}{t_1 + t_2 + t_3 + t_0}} \quad (2.28)$$

Эта формула справедлива для двигателей с принудительной вентиляцией и для закрытых двигателей с естественным охлаждением, теплоотдача которых практически не зависит от частоты вращения. Что касается самовентилируемых двигателей, охлаждение которых значительно ухудшается при снижении частоты вращения и особенно при их остановке, то в последнюю формулу должны быть введены поправки α и β , отражающие ухудшение условий охлаждения двигателей. Тогда

$$M_{\text{эк}} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + M_3^2 t_3}{\alpha(t_1 + t_3) + t_2 + \beta t_0}} \quad (2.29)$$

Методика выбора двигателя, предназначенного для повторно-кратковременного режима работы, заключается в следующем. По нагрузочной диаграмме рабочей машины предварительно выбирают двигатель. Затем строят его нагрузочную диаграмму $M=f(t)$ или $I=f(t)$, по которой двигатель проверяют на допусти-

мый нагрев. Такой методикой пользуются в тех случаях, когда длительность переходных процессов двигателя примерно равна длительности рабочих периодов машины и нагрузочные диаграммы двигателя $M=f(t)$ и машины $M_{ст}=f(t)$ не совпадают.

Если же длительность переходных процессов двигателя, вызванных изменениями нагрузки, значительно меньше длительности рабочих периодов машины, то длительностью переходных процессов пренебрегают и считают, что нагрузочные диаграммы двигателя и рабочей машины совпадают. В этом случае мощность двигателя определяют в таком порядке.

Реальные нагрузочные диаграммы $M_{ст}=f(t)$ или $P_{ст}=f(t)$ рабочей машины заменяют эквивалентными в отношении нагрева (рис. 2.10) с постоянными эквивалентными моментом и мощностью. После такой замены эквивалентные времена работы, пауз и относительную $PВ_{эк}$ (%) машины рассчитывают по формулам:

$$\left. \begin{aligned} t_{р. эк} &= \Sigma t_p; \quad t_{о. эк} = \Sigma t_o; \\ PВ_{эк} &= \frac{t_{р. эк}}{t_{р. эк} + t_{о. эк}} \cdot 100 = \frac{\Sigma t_p}{\Sigma t_p + \Sigma t_o} \cdot 100. \end{aligned} \right\} \quad (2.30)$$

Далее для рабочей части цикла, т. е. без учета времени пауз, определяют эквивалентные мощность или момент при повторно-кратковременном режиме работы машины. Так, например, применительно к нагрузочной диаграмме, изображенной на рис. 2.10, а, эквивалентная мощность (рис. 2.10, б)

$$P_{эк} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + P_3^2 t_3 + P_4^2 t_4 + P_5^2 t_5}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5}}. \quad (2.31)$$

В случае самовентилируемых двигателей в знаменатель подкоренного выражения могут вводиться поправочные коэффициенты α и β , причем поправочный коэффициент для периодов торможения вводится только при электрических способах торможения.

Найденные эквивалентные мощность или момент пересчитывают на ближайшее каталожное значение $PВ_{кат}$ по формулам:

$$P_{кат} = P_{эк} \sqrt{PВ_{эк}/PВ_{кат}}; \quad M_{кат} = M_{эк} \sqrt{PВ_{эк}/PВ_{кат}}. \quad (2.32)$$

Затем по каталогу выбирают двигатель с номинальной мощностью $P_{ном}$, удовлетворяющей условию $P_{ном} \geq P_{кат}$. Выбранный двигатель проверяют также по условиям (2.21) на допустимые перегрузки.

Изложенной методикой можно пользоваться, если фактическая $PВ$ двигателя находится в пределах 10...60%. При $PВ_{эк} < 10\%$

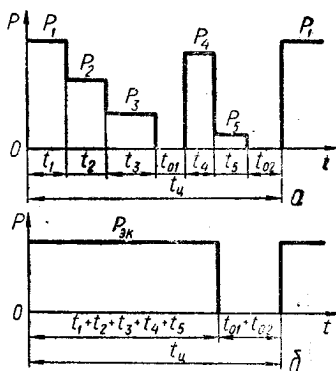


Рис. 2.10. Реальная (а) и эквивалентная (б) нагрузочные диаграммы рабочей машины

следует использовать двигатель, рассчитанный на кратковременный режим работы, а при $P_{вк} > 60\%$ — двигатель, предназначенный для продолжительного режима.

В заключение укажем, что двигатели, выпускаемые для повторно-кратковременного режима, могут использоваться и для кратковременного режима работы. При этом можно руководствоваться тем, что мощность двигателя при $PВ = 25\%$ соответствует часовой работе, а при $PВ = 15\%$ — получасовой (30-минутной).

2.5. ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА ДВИГАТЕЛЯ ПО МОЩНОСТИ ДЛЯ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

При выборе двигателя по мощности для регулируемого электропривода следует иметь в виду, что от способа регулирования его скорости существенно зависят технико-экономические показатели привода. Поэтому весьма ответственным является выбор наиболее целесообразного способа регулирования угловой скорости двигателя, исходя из его минимальных габаритных размеров.

Обратимся к рис. 2.11, где показаны пределы регулирования скорости двигателя ω_{\min} и ω_{\max} ; при этом статический момент $M_{ст}$ (момент нагрузки) во всем диапазоне регулирования скорости остается постоянным, а мощность $P_{ст}$ возрастает с увеличением скорости по линейному закону. Двигатель должен работать не перегреваясь, сколь угодно долго на любой скорости в заданных пределах ее регулирования. Очевидно, при выбранном способе регулирования максимальной будет мощность двигателя на скорости, равной ω_{\max} :

$$P_{ст \max} = M_{ст} \omega_{\max}. \quad (2.33)$$

Для заданного графика нагрузки можно выбрать несколько способов регулирования скорости в зависимости от типа применяемого двигателя, в частности путем введения сопротивления в цепь якоря, если это двигатель постоянного тока независимого возбуждения. При таком способе регулирование скорости возможно только вниз от номинальной, а требуемая мощность двигателя определяется с использованием соотношений

$$\left. \begin{aligned} M_{ном} &= M_{ст}; \quad \omega_{ном} = \omega_{\max}; \\ P_{ном} &= M_{ном} \omega_{ном} = M_{ст} \omega_{\max} = P_{ст \max}. \end{aligned} \right\} \quad (2.34)$$

Выбранный таким образом двигатель работает во всем диапазоне регулирования с постоянным магнитным потоком, а так как момент на его валу не изменен и равен номинальному, то и ток нагрузки остается равным номинальному, что обеспечивается подключением соответствующего сопротивления к цепи ротора двигателя при снижении угловой скорости.

Аналогично можно проанализировать работу электропривода, имеющего асинхронный двигатель с фазным ротором или двигатель, работающий в системе Г—Д, т. е. любого электропривода, в котором при регулировании скорости $M_{ст} = \text{const}$.

Возможен и другой вариант системы регулирования, обеспечивающий работу электропривода при заданном (см. рис. 2.11) графике нагрузки. Пусть регулирование угловой скорости осуществляется изменением магнитного потока двигателя. В этом случае регулирование скорости возможно только вверх от номинальной.

Приняв за номинальную скорость $\omega_{\text{ном}}$, т. е. $\omega_{\text{ном}} = \omega_{\text{мин}}$, с учетом того, что номинальная мощность при этом также должна быть максимальной $P_{\text{ном}} = P_{\text{мах}}$, номинальный момент двигателя можно определить по формуле

$$M_{\text{ном}} = P_{\text{ном}}/\omega_{\text{ном}} = P_{\text{мах}}/\omega_{\text{мин}} = M_{\text{ст}}\omega_{\text{мах}}/\omega_{\text{мин}} = M_{\text{ст}}D, \quad (2.35)$$

где $D = \omega_{\text{мах}}/\omega_{\text{мин}}$ — диапазон регулирования угловой скорости.

Из сравнения номинальных моментов двигателя при разных способах регулирования скорости видно, что при регулировании изменением магнитного потока момент двигателя в D раз больше номинального момента при регулировании введением сопротивления в цепь якоря.

При регулировании скорости изменением магнитного потока по условиям нагрева двигателя ток в его якорной цепи не должен превышать номинального при любой угловой скорости во всем диапазоне регулирования. Учитывая, что двигатель при этом должен развивать номинальный момент, исходя из равенства

$$M_{\text{ном}} = M = k\Phi I = \text{const},$$

можно записать:

$$k\Phi_{\text{ном}}I_{\omega \text{ мин}} = k\Phi_{\omega \text{ мах}}I_{\omega \text{ мах}} = \text{const}. \quad (2.36)$$

Отсюда

$$I_{\omega \text{ мах}} = I_{\omega \text{ мин}} \frac{k\Phi_{\text{ном}}}{k\Phi_{\omega \text{ мах}}} = I_{\omega \text{ мин}}D. \quad (2.37)$$

Таким образом, при регулировании скорости изменением магнитного потока и постоянстве статического момента на валу двигателя с увеличением угловой скорости ток в якорной цепи двигателя растет. А так как габаритные размеры двигателя определяются его номинальным моментом, то двигатель, выбранный с таким способом регулирования скорости, по размерам будет в D раз большим, чем путем введения сопротивления в его якорную цепь.

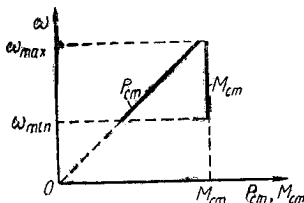


Рис. 2.11. К выбору двигателя по мощности для регулируемого электропривода при $M_{\text{ст}} = \text{const}$

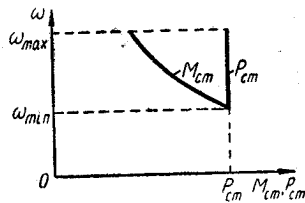


Рис. 2.12. К выбору двигателя по мощности для регулируемого электропривода при $P_{\text{ст}} = \text{const}$

Аналогичным образом можно выбрать оптимальный способ регулирования угловой скорости по минимальным размерам двигателя для случая, когда мощность $P_{ст}$ на валу двигателя в диапазоне регулирования не изменяется (рис. 2.12).

При использовании двигателя постоянного тока независимого возбуждения и регулировании его скорости изменением магнитного потока за номинальную должна быть принята угловая скорость ω_{min} , поскольку ее регулирование ведется вверх от номинальной: $\omega_{ном} = \omega_{min}$. Соответственно номинальный момент

$$M_{ном} = P_{ст} / \omega_{min}. \quad (2.38)$$

Тогда

$$P_{ном} = M_{ном} \omega_{ном} = P_{ст}. \quad (2.39)$$

В то же время $P = UI - I^2 R$. А так как $P_{ст} = const$, то и ток якоря остается неизменным во всем диапазоне регулирования, чем достигается хорошее использование двигателя.

При регулировании скорости путем изменения сопротивления в цепи якоря и постоянстве мощности на валу двигателя выбор его номинальной угловой скорости определяется тем, что регулирование здесь возможно только вниз от номинальной скорости, т. е. $\omega_{ном} = \omega_{max}$. Максимальный момент, на который должен быть рассчитан двигатель,

$$M_{ст max} = M_{ном} = P_{ст} / \omega_{min}.$$

Тогда

$$P_{ном} = M_{ном} \omega_{ном} = P_{ст} \omega_{max} / \omega_{min} = P_{ст} D. \quad (2.40)$$

Следовательно, при регулировании скорости изменением сопротивления в цепи якоря номинальная мощность двигателя будет зависеть от глубины регулирования. При увеличении скорости в процессе регулирования ток уменьшается вследствие снижения статического момента на валу двигателя. Полностью по току он загружается лишь при ω_{min} . С ростом скорости использование двигателя снижается пропорционально диапазону регулирования.

В электроприводах, выполненных по системе Г—Д и ей аналогичных, где регулирование скорости вниз от номинальной осуществляется путем изменения напряжения на зажимах двигателя, а вверх от номинальной — изменением его магнитного потока, общий диапазон регулирования D разбивается на два поддиапазона — нижний D_1 и верхний D_2 . В этом случае номинальную скорость можно определить по формулам:

$$\omega_{ном} = \omega_{min} D_1$$

или

$$\omega_{ном} = \omega_{max} / D_2,$$

а номинальную мощность — по формуле

$$P_{ном} = P_{ст} D_1.$$

При использовании двигателя с самовентиляцией надо учитывать ухудшение условий его охлаждения при уменьшении угловой скорости. С этой целью при малых скоростях нагрузка двигателя должна быть снижена, вследствие чего его номинальный момент должен быть выбран больше максимального момента нагрузки $M_{ст. макс}$. В результате номинальная мощность двигателя также возрастает и использование двигателя по моменту и мощности уменьшится еще больше.

Из рассмотренных примеров следует, что для повышения энергетических показателей регулируемого электропривода выбор мощности его двигателя необходимо производить совместно с выбором рационального способа регулирования скорости с учетом механической характеристики рабочей машины.

2.6. ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА ДВИГАТЕЛЯ, РАБОТАЮЩЕГО С МАХОВИКОМ

Многие производственные машины и механизмы (например, прессы, штамповочные и ковочные машины, некоторые прокатные станы, поршневые насосы, компрессоры и др.) создают на валу двигателя ударную или пусковую нагрузку, когда статический момент резко возрастает по различным законам, а затем падает до момента холостого хода. В таких машинах и механизмах почти всегда устанавливают маховики для выравнивания графика нагрузки и уменьшения потерь энергии в двигателе и питающей сети, а в качестве приводных используют двигатели постоянного тока и асинхронные двигатели с фазным либо с короткозамкнутым ротором и повышенным скольжением.

Рассмотрим работу двигателя с маховиком на примере прокатного стана, часть нагрузочной диаграммы которого изображена на рис. 2.13. Здесь пиковые моменты нагрузки создаются прокаткой металла через валки. Значения этих моментов определяются силами деформации металла при проходе через валки и зависят от давления валков на металл. Во время паузы двигатель нагружается моментом холостого хода M_0 , который вызван главным образом силами трения в различных частях стана. Цикл работы двигателя состоит из трех периодов различной длительности (t_1, t_2, t_3) и пауз между ними (t_{01}, t_{02}, t_{03}).

Когда металл входит в зазор между валками и начинается прокатка, статический момент нагрузки стана возрастает практически мгновенно от момента холостого хода M_0 до момента прокатки $M_{ст1}$, вследствие чего двигатель начинает уменьшать скорость и увеличивать свой момент по отрезку

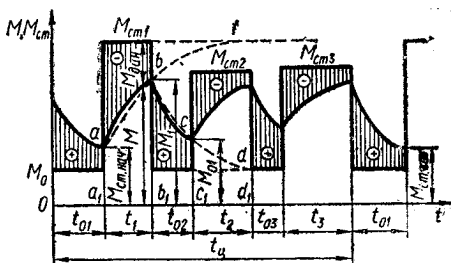


Рис. 2.13. Нагрузочная диаграмма прокатного стана и его двигателя

экспоненты ab . Если бы процесс прокатывания был длительным, то момент двигателя, возрастая по штриховой кривой bf , достиг бы значения статического момента прокатки $M_{ст1}$ и продолжал работать с этим моментом. Однако по истечении времени t_1 металл выходит из валков и прокатка заканчивается при моменте M_1 . В период прокатки момент двигателя M меньше статического момента стана $M_{ст1}$ на значение динамического момента $M_{дин}$, созданного всеми движущимися массами привода. Поскольку скорость во время прокатки снижается, маховик отдает двигателю часть своей кинетической энергии и тем самым разгружает его, принимая на себя часть нагрузки.

После окончания прокатки момент стана мгновенно падает до момента холостого хода M_0 , вследствие чего двигатель начинает увеличивать скорость и уменьшать свой момент по экспоненте bc . В течение паузы t_{02} момент двигателя M больше момента нагрузки M_0 на значение динамического момента $M_{дин}$, под действием которого маховик увеличивает свою скорость, накапливая кинетическую энергию. Если бы пауза t_{02} была длительной, то момент двигателя, уменьшаясь, достиг бы момента холостого хода M_0 . Так как продолжительность паузы невелика, то момент двигателя снижается только до значения M_{01} , при котором начинается следующий, второй, пропуск металла, протекающий аналогично первому.

Заштрихованные на рис. 2.13 участки со знаком «—» обозначают энергию, отдаваемую маховиком, а со знаком «+» — энергию, запасаемую маховиком за счет энергии двигателя.

Общий принцип совместного выбора двигателя и маховика заключается в том, что кинетическая энергия маховика к началу нового цикла работы должна оставаться неизменной, а скорость двигателя постоянной. В процессе прохождения пиков нагрузки во время цикла маховик отдает энергию валу двигателя, а в период холостого хода запасает ее. Энергия, отданная маховиком за цикл, должна быть равна энергии, вновь накопленной маховиком. Если это условие не соблюдается, то в последующие периоды начальная скорость цикла не будет оставаться постоянной и двигатель при этом будет либо перегружен, либо он выбран завышенной мощности.

Один из наиболее простых методов предварительного выбора двигателя состоит в определении расчетного значения его номинального момента $M_{р. ном}$, по которому подбирают двигатель. При этом должно выполняться условие

$$M_{ном} > M_{р. ном}, \quad (2.41)$$

где $M_{ном}$ — номинальный момент выбранного двигателя, а

$$M_{р. ном} = 1,1 \dots 1,3 M_{ср}, \quad (2.42)$$

где $M_{\text{ср}}$ — средний момент нагрузки. Для нагрузочной диаграммы, показанной на рис. 2.13,

$$M_{\text{ср}} = \frac{M_{\text{ст}1}t_1 + M_{\text{ст}2}t_2 + M_{\text{ст}3}t_3 + M_0 \sum_1^3 t_{oi}}{t_{\text{ц}}} \quad (2.43)$$

Выбранному номинальному значению момента двигателя, обусловливающему хорошее использование двигателя как по нагреву, так и по допустимой перегрузке, будет отвечать единственное значение момента инерции маховика, которое можно определить, рассчитав общий момент инерции всего агрегата:

$$J = \frac{M_{\text{НОМ}}}{2,303\omega_0 s_{\text{НОМ}}} \frac{t_i}{\lg \frac{M_{\text{ст}i} - M_0}{M_{\text{ст}i} - \lambda_m M_{\text{НОМ}}}}, \quad (2.44)$$

где $s_{\text{НОМ}}$, ω_0 — номинальное скольжение и синхронная угловая скорость двигателя; t_i — длительность рабочего участка, в конце которого двигатель развивает наибольший момент; $M_{\text{ст}i}$ — статический момент нагрузки на рабочем участке, в конце которого двигатель развивает наибольший момент; λ_m — допустимая перегрузочная способность двигателя по моменту.

Момент инерции маховика получим, вычтя из J приведенные к валу двигателя моменты инерции рабочей машины и ротора двигателя $J_{\text{пр}}$:

$$J_{\text{мах}} = J - J_{\text{пр}} \quad (2.45)$$

После соответствующего расчета конструкции маховика необходимо сделать проверку предварительно выбранного двигателя и маховика, для чего следует построить нагрузочную диаграмму электропривода $M=f(t)$. Примерный вид этой диаграммы показан на рис. 2.13. Критерием правильности выбора двигателя и момента инерции маховика является равенство скоростей и моментов двигателя в начале и в конце цикла, а также равенство площадей, пропорциональных кинетической энергии, запасенной в массах электропривода при холостом ходе (отмечена на рис. 2.13 знаком «+») и израсходованной при нагрузке (отмечена знаком «-»):

$$M_{\text{ст.нач}} = M_{\text{ст.кон}}; \quad \omega_{\text{нач}} = \omega_{\text{кон}} \quad (2.46)$$

Предварительно выбранный двигатель проверяется затем по нагреву одним из изложенных выше методов. При этом нагрузочная диаграмма двигателя представляет собой зубчатую кривую (рис. 2.13), состоящую из отдельных кривых ab , bc , ..., которые характеризуют работу двигателя в переходном режиме, т. е. показывают, как изменяется момент двигателя при внезапном изменении приложенной к его валу нагрузки. Для любого участка диаграммы кривую переходного процесса можно построить по уравнению

$$M = M_{\text{ст}} + (M_{\text{нач}} - M_{\text{ст}})e^{-t/T_m}, \quad (2.47)$$

где $M_{\text{нач}}$ — момент двигателя в начале переходного процесса; T_m — электромеханическая постоянная времени электропривода.

Однако кривые переходных процессов можно и не строить, считая, что момент двигателя на каждом участке диаграммы изменяется линейно, как показано на рис. 2.13 штриховыми линиями ab , bc . При таком упрощенном расчете достаточно найти моменты двигателя только в начале и в конце рассматриваемого участка (в точках a , b , c и т. д.). При этом нагрузочная диаграмма двигателя будет иметь вид не зубчатой кривой, а состоять из трапеций (a_1abb_1 , b_1bcc_1 и т. д.). Используя принцип, заложенный в (2.17), легко определить эквивалентный момент двигателя.

Из (2.44) следует, что момент инерции маховика может быть снижен при увеличении скольжения двигателя. Этой мерой часто пользуются, выбирая двигатель с повышенным скольжением $s_{\text{ном}} \approx 10 \dots 12\%$ и $s_{\text{кр}} \approx 15 \dots 20\%$. Большее увеличение скольжения нежелательно, так как оно приводит к снижению производительности рабочей машины.

Повышения скольжения можно достигнуть и путем введения в цепь ротора асинхронного двигателя добавочного сопротивления, которое выбирается так, чтобы скольжение $s_{\text{кр}}$, соответствующее максимальному моменту, не превышало $12 \dots 16\%$. Включение в цепь ротора добавочного сопротивления осуществляется регуляторами скольжения. При нагрузках, превышающих установленное значение, регулятор скольжения автоматически вводит в цепь ротора соответствующее добавочное сопротивление и скорость электропривода быстро уменьшается, так как добавочное сопротивление ограничивает возрастание момента и тока двигателя.

Глава 3 ЭЛЕКТРОПРИВОД КРАНОВ

3.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КРАНОВЫХ МЕХАНИЗМАХ

Подъемным краном называется машина, предназначенная для захватывания, подъема и перемещения в горизонтальном направлении различных грузов на сравнительно небольшие расстояния в пределах цеха, стройки или склада. Краны, представляя собой особую группу грузоподъемных машин, характеризуются повторно-кратковременным режимом работы.

Краны можно классифицировать по области применения, роду привода основных механизмов, типу грузозахватного органа, конструктивным особенностям, характеру и режиму эксплуатации и другим признакам.

По области применения подъемные краны подразделяются в основном на *цеховые, транспортные* (автомобильные, железнодорожные), *строительные, морские* и др. Цеховые подъемные краны устанавливаются в помещениях производственных цехов или складов и используются для механизации грузоподъемных и погрузочно-разгрузочных работ, связанных с технологическим процессом.

По назначению и конструкции различают краны *мостовые, козловые, порталные* и *башенные*. Мостовые краны широко применяются в цехах машиностроительных, металлургических и других заводов, башенные — на строительстве жилых домов и производственных помещений.

Конструкция крана и тип применяемого на нем грузозахватного органа определяются видом производственного процесса, обслуживаемого краном. Мостовые краны, например, бывают *крюковые* (нормальные), *рейферные* (для сыпучих грузов), *магнитные* (для ферромагнитных материалов), *клещевые* и *ковшовые*.

В данной главе рассматриваются только мостовые электрические краны разных назначений как наиболее распространенный вид кранов, применяемых для механизации внутрицеховых и внутрискладских работ в различных отраслях промышленности.

Мостовой подъемный кран (рис. 3.1) состоит из моста, перекрывающего весь пролет цеха, и грузовой тележки с механизмами подъема и передвижения. Мост передвигается по рельсам, установленным на подкрановых балках цехового здания, а грузовая тележка — по рельсам моста крана. Такой кран обслуживает всю площадь цеха или склада и может перемещать грузы в любом направлении соответственно технологическому процессу. Питание моста и тележки крана электроэнергией производится от токоподводящих (контактных) проводов или троллеев. Управление

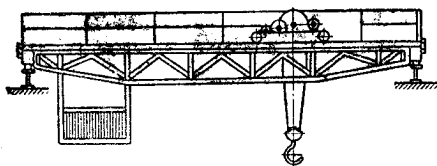


Рис. 3.1. Мостовой подъемный кран с крюком

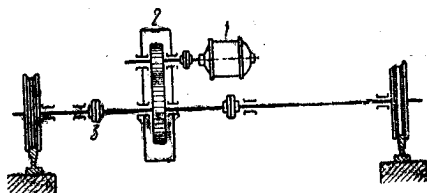


Рис. 3.2. Схема механизма передвижения моста с центральным приводом

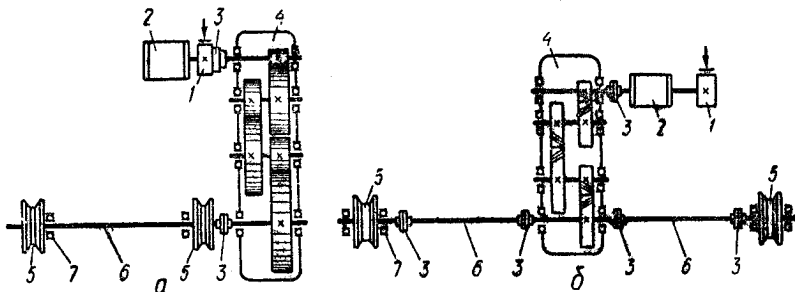


Рис. 3.3. Схемы механизмов передвижения грузовой тележки мостового подъемного крана с боковым (а) и центральным (б) расположением двигателя

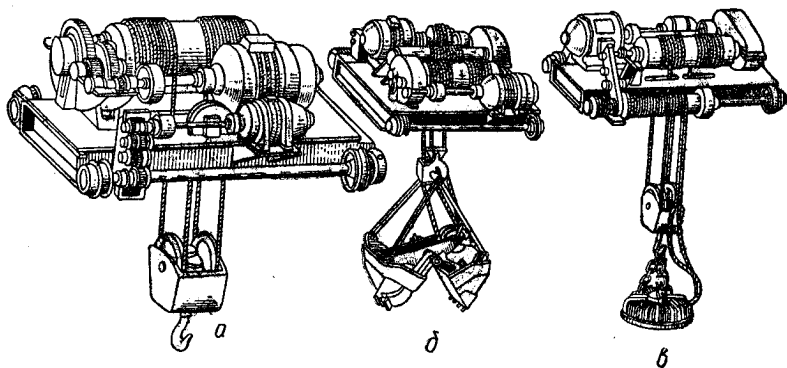


Рис. 3.4. Общий вид грузовой крюковой (а), грейферной (б) и магнитной (в) тележек

краном осуществляется с помощью контроллеров и командоконтроллеров из кабины, размещенной на мосту или раме грузовой тележки.

Мостовые краны изготавливаются грузоподъемностью 1...500 т, с пролетами 12...32 м и высотой подъема грузов 10...16 м. Скорость подъема крюка составляет 5...30 м/мин, скорость передвижения тележки — 40...60 м/мин, моста — до 125 м/мин.

Передача движения на ходовые колеса моста может производиться от одного электродвигателя 1, который входит в состав центрального привода (рис. 3.2) и устанавливается посередине

моста, а передача движения на колеса моста происходит с помощью редуктора 2 и вала, который называют *трансмиссионным*. Обычно трансмиссионный вал состоит из нескольких частей, соединяемых муфтами 3.

Одним из основных конструктивных узлов мостового подъемного крана является грузовая тележка с лебедкой. Тележка представляет собой сварную раму, которая передвигается на ходовых колесах по рельсам, уложенным на главных балках моста. Ходовые колеса тележки приводятся в движение механизмом передвижения (рис. 3.3), который состоит из двигателя 2, редуктора 4 и вала 6, передающего движение от редуктора ходовым колесам 5. Остальными цифрами на рис. 3.3 обозначено: 1 — тормоз; 3 — зубчатая муфта; 7 — подшипник.

По конструкции грузовая тележка может быть *крюковой*, *грейферной* и *магнитной* (рис. 3.4). Для подъема и спуска грузозахватного органа на тележке имеется лебедка, состоящая из двигателя, редуктора и барабана, от которого движение передается крюку, грейферу или электромагниту с помощью полиспаста.

3.2. ВЫБОР ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ДЛЯ КРАНОВЫХ МЕХАНИЗМОВ

Электрические подъемные краны широко применяются в различных отраслях народного хозяйства, причем условия работы кранов крайне разнообразны. Подъемные краны устанавливаются как для обеспечения эпизодических операций, например во время ремонтов (мостовые краны машинных залов электростанций), так и для выполнения определенных технологических операций (мостовые краны металлургических заводов, краны топливных складов электростанций).

Для получения высоких экономических показателей и надежности эксплуатации кранов при проектировании и выборе электрооборудования необходимо учитывать режимы работы крановых установок. Госгортехнадзор установил следующие категории режимов работы механизмов с машинным приводом: легкий (Л), средний (С), тяжелый (Т) и весьма тяжелый (ВТ). Эти режимы характеризуются $PВ = 15...60\%$. Предусмотрен также режим ОТ (особо тяжелый) для кранов, используемых в технологических комплексах, когда $PВ$ достигает 100% при числе включений в час 600 и более.

Выбор системы электропривода подъемных кранов определяется требованиями технологического процесса в отношении грузоподъемности, точности остановки, скорости движения, ускорения и замедления транспортируемого груза, а также допустимых усилий в кинематической цепи и металлоконструкциях механизмов крана. Обязательные требования к электроприводам грузоподъемных машин нормируются правилами Госгортехнадзора и ПУЭ.

Режимы работы грузоподъемных машин указаны в табл. 3.1, где приняты следующие обозначения:

Таблица 3.1. Режимы работы грузоподъемных машин

Режим работы механизма	Среднее допустимое использование механизма			ПВ, %	Среднее число включений в час	Температура окружающей среды, °С
	по грузоподъемности, $k_{гр}$	по времени				
		в течение года, k_r	в течение суток, k_c			
Л	0,25 ... 1	Нерегулярная редкая работа		15 ... 25	До 60	25
С	0,75	0,5	0,33	25	60	25
Т	0,75 ... 1	1,0	0,66	40	120	25
ВТ	1	1,0	1,00	40	240	40
				60	300	45
				60	600	45

а) коэффициент использования крана по грузоподъемности

$$k_{гр} = Q_{ср}/Q_{ном}$$

($Q_{ср}$ — среднее значение массы поднимаемого груза за смену; $Q_{ном}$ — номинальная грузоподъемность крана);

б) коэффициент годового использования механизма

$$k_r = \frac{\text{число дней работы механизма в году}}{365};$$

в) коэффициент суточного использования механизма

$$k_c = \frac{\text{число часов работы механизма в сутки}}{24};$$

г) продолжительность включения при повторно-кратковременном режиме работы

$$ПВ = \frac{\text{время включения электродвигателя}}{\text{общее время цикла}} \cdot 100.$$

Расчетная $ПВ_p$ (%) крана при регулярно повторяющихся циклах определяется выражением

$$ПВ_p = \left(1 - \frac{N t_0}{3600}\right) \cdot 100,$$

где N — производительность крана при номинальной грузоподъемности $Q_{ном}$, определяемая числом циклов в час; t_0 — время паузы в работе за один цикл, с.

Электродвигатель (двигатели, аппаратура) для мостового подъемного крана поступает в заводской комплектации, т. е. его тип и мощность уже определены и не нуждаются в каком-либо выборе или расчете. Тем не менее, в отдельных случаях может возникнуть необходимость проверочного расчета мощности электрического двигателя для определенного режима его работы, т. е. для определенной *нагрузочной диаграммы* (рис. 3.5). По этой диаграмме находят *эквивалентную мощность* $P_{пв}$ для повторно-кратко-

временного режима, под которой понимают эквивалентную среднюю квадратическую мощность за время включения двигателя, т. е. без учета пауз. Зная расчетную мощность, по каталогу подбирают крановый двигатель при заданной ПВ (%); номинальная мощность такого двигателя $P_{ном} \leq P_{рв}$.

Так как стандартная мощность крановых двигателей соответствует ПВ = 25% или ПВ = 40%, а в ряде случаев фактическая ПВ (%) может отличаться от стандартной, то мощность двигателя пересчитывают по формуле

$$P_{кат} = P_{рв} \sqrt{ПВ_{факт} / ПВ_{кат}},$$

где $P_{кат}$ — искомая каталожная мощность двигателя при стандартной ПВ_{кат}; $P_{рв}$ — расчетная мощность двигателя при фактической ПВ_{факт}, найденная по нагрузочной диаграмме.

Поясним сказанное примером. Пусть по нагрузочной диаграмме определено расчетное значение $P_{рв}$ при ПВ = 30%. Этому значению при ПВ = 25% будет соответствовать мощность $P_{кат} = P_{25} = P_{30} \sqrt{\frac{30}{25}} = P_{30} \sqrt{1,2} = 1,1P_{30}$.

Найденная таким образом мощность кранового двигателя должна быть проверена на пусковой и максимальный режимы, а асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором проверяется еще и на допустимое число включений в час.

Следует отметить также, что повышать мощность электропривода вследствие увеличения капитальных затрат и износа (из-за недопустимых ускорений в работе) нежелательно.

Требованиями, предъявляемыми к вновь разрабатываемым электроприводам грузоподъемных машин, являются:

1. При включенном электроприводе механизма подъема (на нулевом положении) в случае выхода из строя механического тормоза необходимо обеспечение медленного опускания груза за счет динамического торможения в электроприводе переменного тока в электроприводе постоянного тока это требование выполняется).

2. В начале подъема груза при снижении напряжения на зажимах двигателя до 90% номинального должна быть исключена возможность спуска номинального груза.

3. При перемещении рукоятки командоконтроллера в направлении снижения скорости электропривода последняя не должна повышаться даже одновременно.

4. Груз должен двигаться только в направлении, установленном командоаппаратом. В случае неисправности в системе управления электроприводом допускается остановка груза.

5. Управление каждым механизмом грузоподъемной машины желательно осуществлять одним рычагом.

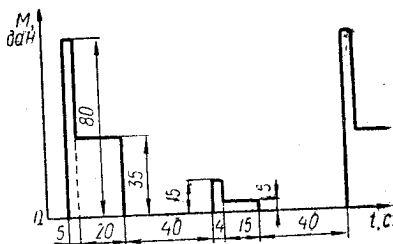


Рис. 3.5. Нагрузочная диаграмма крановой лебедки

В крановом электроприводе используются следующие типы электродвигателей:

а) двигатели постоянного тока последовательного или независимого возбуждения. Регулирование их скорости, ускорений и замедлений осуществляется путем изменения подводимого к якорию двигателя напряжения и тока возбуждения;

б) асинхронные двигатели переменного тока с фазным ротором. Регулирование скорости, ускорений и замедлений этих двигателей производится путем введения в цепь их ротора резисторов;

в) асинхронные двигатели переменного тока с короткозамкнутым ротором, регулирование частоты вращения которых осуществляется изменением частоты напряжения преобразователя;

г) асинхронные двигатели переменного тока с короткозамкнутым ротором и двумя или тремя обмотками на статоре с разным числом полюсов. Регулирование частоты вращения этих двигателей производится путем изменения числа пар полюсов обмоток.

Большинство промышленных подъемных кранов оборудуются двигателями постоянного или переменного тока с регулированием частоты вращения и момента с помощью контроллеров. Специальные краны, предназначенные для выполнения особенно точной работы, снабжаются сложными системами электропривода с регулируемым источником питания двигателя.

В настоящее время применяются следующие системы электропривода крановых механизмов:

1. Система непосредственного управления с помощью силовых кулачковых контроллеров. Такая система используется для управления крановыми механизмами легкого и среднего режимов работы с диапазоном регулирования частоты вращения не более 3:1 и небольшим (до 120) числом включений в час. Эта система не требует специальной наладки.

В электроприводе механизмов подъема с двигателем постоянного тока применяется несимметричная схема контроллера с потенциометрическим включением якоря двигателя на положениях спуска, а в электроприводе механизмов передвижения — симметричная схема контроллера с последовательно включенными резисторами.

Управление асинхронными двигателями переменного тока с фазным ротором осуществляется кулачковыми контроллерами, производящими коммутацию обмоток статора, а также переключение резисторов в цепи ротора.

2. Система с магнитными контроллерами. Эта система используется в установках постоянного и переменного тока. Операции по управлению в ней осуществляются с помощью командоконтроллеров. Такая система не требует наладки и обеспечивает диапазон регулирования частоты вращения в пределах 6:1.

3. Система переменного тока с тиристорным регулятором напряжения. Напряжение на обмотку статора асинхронного электродвигателя с фазным ротором подается от тиристорного регулятора напряжения. При автоматическом регулировании напряжения с о. с. по скорости эта система обеспечи-

вает регулирование частоты вращения в диапазоне 10:1. Основными недостатками системы являются необходимость проведения сложных наладочных работ и тахометрического контроля частоты вращения, что вызывает дополнительные трудности, связанные с обеспечением передачи маломощных сигналов через троллей.

4. Система Г—Д. В крановых электроприводах эта система получила большое распространение, являясь до недавнего времени наиболее эффективной с точки зрения обеспечения необходимого диапазона регулирования скорости при всех многообразных режимах работы электропривода. Система Г—Д обеспечивает регулирование частоты вращения в диапазоне 10:1, обладает хорошими регулировочными характеристиками и отличается сравнительно невысокой стоимостью. Недостатком такой системы являются необходимость размещения в стесненных помещениях крановых установок вращающихся преобразователей, а также повышенные эксплуатационные расходы, связанные с обеспечением регулярного обслуживания.

5. Система постоянного тока с тиристорным преобразователем напряжения (система ТП—Д). Эта система обладает хорошими регулировочными характеристиками и обеспечивает регулирование частоты вращения в диапазоне 10:1. Она не требует применения тахогенераторов в схемах управления при работе в довольно широком диапазоне регулирования. Основными недостатками ее являются высокая стоимость единицы установленной мощности, сложная наладка, а также отрицательное влияние на качество электроэнергии в питающей сети.

6. Система с тиристорным преобразователем частоты (система ТПЧ—АД). Данная система при использовании асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором обеспечивает большой диапазон регулирования частоты вращения (до 60:1) и высокие динамические показатели электропривода. Столь широкий диапазон регулирования частоты вращения, неприемлемого для тахометрического контроля частоты вращения, обеспечить не могут. Недостатки системы ТПЧ—АД те же, что и системы ТП—Д.

Выбор системы электропривода для крановых механизмов осуществляется на основе технико-экономического сравнения ее различных вариантов с учетом диапазона возможных мощностей, способа управления, пределов регулирования, вероятности безотказной работы, возможности дистанционного и автоматического управления, сложности наладки и условий эксплуатации системы, а также первоначальных капитальных затрат и эксплуатационных расходов на ремонт и потребляемую электроэнергию.

Если экономические показатели сравниваемых вариантов будут близки (расхождение не превышает 15%), то производится их дополнительная оценка по массо-габаритным характеристикам и условиям размещения электрооборудования, что иногда играет существенную роль и вынуждает использовать систему, худшую по

экономическим показателям, на лучшую с точки зрения размещения преобразовательных агрегатов на кране.

Электродвигатели, установленные на кранах, обычно работают в тяжелых условиях, часто при повышенной температуре, влажности и запыленности или в химически активной среде, а также при резких колебаниях температуры и влажности. Режимы работы крановых электродвигателей характеризуются значительными перегрузками, ударными нагрузками, частыми пусками и торможениями. Для обеспечения бесперебойности в работе и безопасности эксплуатации эти двигатели по сравнению с двигателями общего применения имеют повышенную прочность конструкции, более нагревостойкую изоляцию, высокие перегрузочные свойства, уменьшенный момент инерции ротора. Последнее достигается за счет уменьшения диаметра и увеличения длины ротора. Основное конструктивное исполнение крановых двигателей — закрытое, с горизонтальным валом, на лапах.

Учитывая особые условия эксплуатации, отечественная промышленность в настоящее время выпускает крановые электродвигатели следующих специальных серий: постоянного тока — серия Д; асинхронные с фазным ротором — серии МТФ и МТН; асинхронные с короткозамкнутым ротором — серии МТКФ и МТКН.

Наиболее широко применяются в крановых электроприводах двигатели переменного тока, которые составляют 90% общего количества двигателей крановых механизмов. Это объясняется тем, что при одном и том же номинальном моменте масса кранового двигателя постоянного тока закрытого исполнения больше массы асинхронного кранового двигателя с наружной самовентиляцией в 2,2...3 раза, причем масса меди первого примерно в 5 раз больше массы меди второго. Однако следует отметить, что благодаря хорошим регулировочным характеристикам, обеспечивающим широкий диапазон изменения частоты вращения, и значительным допустимым перегрузкам по моменту крановые двигатели постоянного тока в ряде случаев являются предпочтительными.

Для подавляющего большинства крановых механизмов условия работы заранее указать нельзя. Условия, по которым производится выбор всех элементов конструкции крана, в том числе и его электрооборудования, определяются упомянутыми выше категориями режимов его работы (Л, С, Т, ВТ и ОТ).

Современная методика выбора приводных электродвигателей базируется на ожидаемом режиме работы электропривода с учетом особенностей выбранной системы управления. Соответствие принятого режима работы фактическим условиям эксплуатации является неперенным условием надежной работы крана. Полное описание этих методов дано в специальной литературе [18, 41].

8.3. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ И АППАРАТУРА КРАНОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Системы управления крановыми механизмами находятся под постоянным контролем машиниста, который выбирает момент начала операции, скоростные параметры и момент окончания операции. Системы управления должны обеспечивать необходимую последовательность переключений для реализации выбранных скоростных параметров и соответствующую защиту.

По способу управления различают следующие системы:

1. Управляемую непосредственно с помощью силовых кулачковых контроллеров; весь процесс управления при этом осуществляется машинистом.

2. Управляемую с помощью кнопочного поста; возможности управления здесь ограничены конструктивными особенностями поста.

3. Управляемую с помощью магнитных контроллеров и автоматическим выполнением необходимых промежуточных переключений с регулированием частоты вращения, ускорения и торможения.

В соответствии с требованиями Госгортехнадзора каждый кран должен быть оборудован защитной панелью, обеспечивающей подачу питания к электроприводам механизмов и его отключение, а также защиту электродвигателей и электрооборудования этих механизмов. Защитная панель крана является комплектным устройством, оборудованным блокировкой, допускающей подачу питания только после отпирания включающего устройства с помощью специального ключа-марки. Блокировка не позволяет также вынуть ключ, если не снято питание с крана.

Защитная аппаратура обеспечивает нулевую блокировку, исключающую возможность пуска двигателей крана, если хоть один из контроллеров не находится в нулевом положении; максимальную защиту от перегрузок и коротких замыканий, когда ток какой-нибудь из цепей двигателей превышает $2,25 \dots 3I_{\text{ном}}$; минимальную защиту, исключающую пуск двигателей и производящую их отключение при снижении напряжения сети до $0,85U_{\text{ном}}$. В схему электрических панелей входят также блокировочные контакты положения дверей и люков, концевые выключатели ограничения хода и т. д.

В настоящее время большинство кранов комплектуются защитными панелями с блокировкой трех типов: ППЗБ-160 — для кранов с электроприводом постоянного тока; ПЗКБ-160 и ПЗКБ-400 — для кранов с электроприводом переменного тока. Цифрами в обозначении типа защитной панели указывается значение суммарного номинального тока двигателей в амперах, на который рассчитана панель.

На рис. 3.6 изображена схема защитной панели типа ПЗКБ-160, в состав которой входят: общий рубильник P , линейный контактор L , предохранители цепи управления $Pr1$ и $Pr2$, реле максимального тока MP и пусковая кнопка KB .

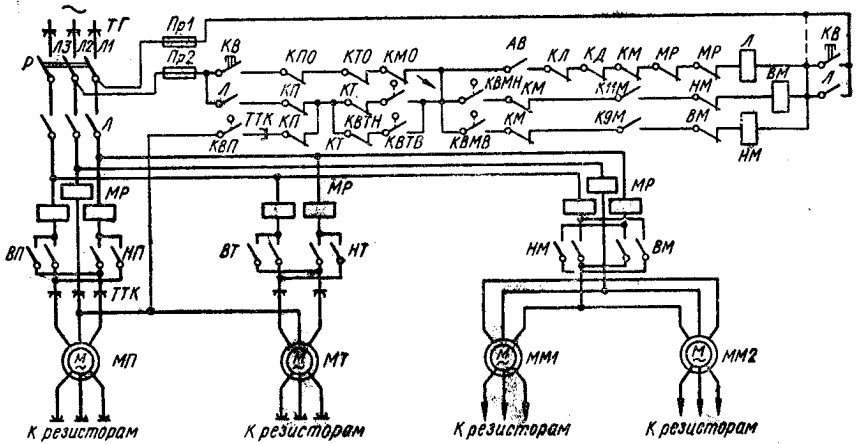


Рис. 3.6. Принципиальная схема защитной панели типа ПЗКБ-160 для мостового подъемного крана

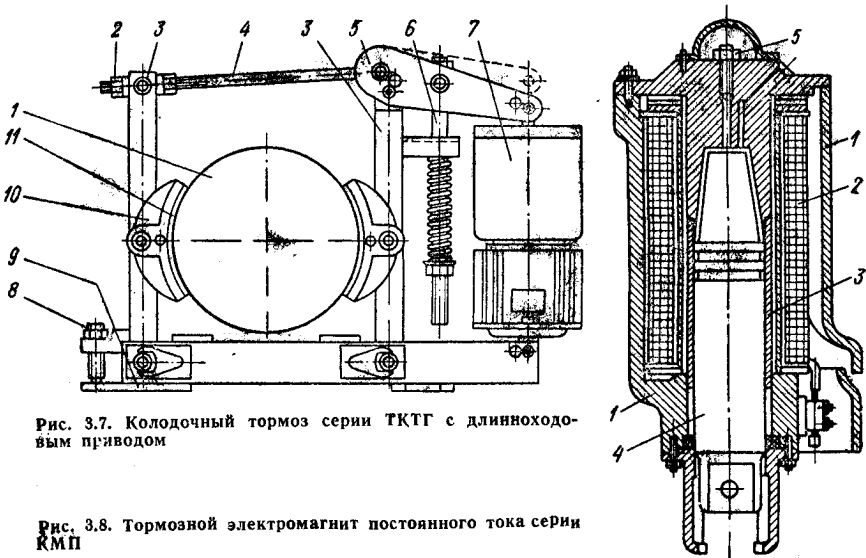


Рис. 3.7. Колодочный тормоз серии ТКТГ с длинноходным приводом

Рис. 3.8. Тормозной электромагнит постоянного тока серии КМП

Из рассмотрения схемы видно, что подача напряжения на катушку линейного контактора *Л* производится после включения рубильника *Р* путем нажатия кнопки *КВ*, если рукоятки всех контроллеров (подъема *КПО*, тележки *КТО* и моста *КМО*) находятся в нулевом положении, включен аварийный выключатель *АВ*, замкнуты контакты люка выхода на мост *КЛ* и двери кабины *КД*, включен ключ-марка *КМ* и замкнуты контакты реле максимального тока *МР*. При срабатывании линейного контактора замыкаются его силовые контакты *Л* и подается напряжение на силовые цепи

электропривода, а также замыкается блок-контакт L в цепи управления, шунтирующий кнопку KB .

Вывод контроллеров из нулевого положения в рабочее уже не может разорвать цепь питания катушки L , так как она собрана по параллельной схеме.

При срабатывании концевых выключателей механизма передвижения моста $KBMH$ или $KBMB$ размыкаются цепи катушек контакторов BM или HM .

На схеме, кроме рассмотренных, показаны промежуточные контакты контроллеров $KП$, $KТ$, $K11M$ и $K9M$, контакты взаимной блокировки HM и BM , концевые выключатели $KВТН$, $KВТВ$ и $KВЛ$, а также двигатель подъема $МП$, двигатели моста $MM1$, $MM2$ и двигатель тележки MT .

Конструктивно защитная панель представляет собой навесной металлический шкаф с передней дверью. Габаритные размеры панели типа ПЗКБ-160 составляют $965 \times 547 \times 330$ мм.

Крановый механизм с электроприводом должен иметь электромагнитное тормозное устройство, обеспечивающее его остановку в заданном положении или ограничивающее путь торможения при выбеге механизма после отключения электродвигателя.

В соответствии с правилами Госгортехнадзора для обеспечения безопасности эксплуатации каждый подъемный механизм грузоподъемной машины должен снабжаться нормально замкнутым тормозом, тормозные поверхности которого должны соприкасаться между собой с необходимым давлением за счет силы сжатия пружины или рычажно-грузового устройства. Освобождение такого тормоза происходит под действием его привода, преодолевающего воздействие пружин или груза.

Существует много конструкций тормозных устройств. По исполнению фрикционных элементов различают: *дисковые, конические, колодочные и ленточные* тормоза. Крановые тормоза выполняют *прямого* или *косвенного* действия. В настоящее время наиболее часто используются колодочные тормоза с электромагнитами или электрогидравлическими толкателями и только мощные ленточные тормоза (тормозной момент более 1000 даН·м) имеют гидравлические либо моторные приводы.

Схемы управления электроприводами крановых механизмов построены таким образом, что при включении двигателя тормозное устройство одновременно освобождает вал исполнительного органа. При любой остановке электродвигателя, предусмотренной или вызванной какими-либо повреждениями, обмотка тормозного электромагнита отключается от цепи питания одновременно с электродвигателем, что приводит к механическому зажатию тормозных колодок. Размыкание общего рубильника автоматически вызывает за тормаживание всех электродвигателей крана.

На рис. 3.7 показан колодочный тормоз серии ТКТГ с длинноходовым приводом. Стальной тормозной шкив I расположен на таком участке кинематической схемы подъемного механизма, который имеет неразъемную под нагрузкой связь с выходным ва-

лом передаточного механизма. Чугунные колодки 10 с фрикционными обкладками 11 образуют с тормозным шкивом фрикционную пару. Колодки шарнирно укреплены на рычагах 3, которые также шарнирно закреплены на подставке 9. Рычаги 3 колодок соединены между собой тягой 4 посредством приводного рычага 5. Пружина 6, воздействуя на приводной рычаг, поворачивают его против часовой стрелки. При этом приводной рычаг 5 сдвигает рычаги 3 и прижимает колодки к шкиву, если отключен привод 7. Включенный привод тормоза, поворачивая приводной рычаг 5 по часовой стрелке, разжимает колодки. Регулировка тормозного усилия осуществляется гайкой 2. Равномерность прижима колодок регулируется болтом 8.

В настоящее время изготавливаются следующие серии электромагнитов для привода крановых тормозов: КМП, ВМ и МП — постоянного тока; КМТ — переменного трехфазного тока; МО — переменного однофазного тока. В зависимости от расстояния, на которое перемещается подвижная часть электромагнита при подаче и снятии тока (от 10 до 150 мм), различают *коротко-* и *длинноходовой* тормозные электромагниты.

На рис. 3.8 изображен тормозной электромагнит постоянного тока серии КМП. Корпус электромагнита 1, являющийся также частью магнитопровода, выполнен литым. В корпус вставлена катушка 2, внутри которой по направляющей латунной втулке 3 перемещается якорь 4 из мягкой стали. В крышке электромагнита установлен регулировочный винт 5. Пара якорь-крышка работает как воздушный демпфер для смягчения ударов при включении и для регулирования времени отключения. Якорь не имеет упора против движения вниз, такое ограничение обеспечивается конструкцией тормоза. Выводы от катушки присоединены к вводной коробке, находящейся в нижней части корпуса. Катушки электромагнитов постоянного тока изготавливают с обмотками тока или напряжения в зависимости от схемы подключения электромагнита (последовательно или параллельно) к обмотке электродвигателя.

Тормозные электромагниты постоянного тока серии КМП являются длинноходовыми и имеют тяговую характеристику с практически постоянным усилием в течение всего хода якоря, что позволяет осуществлять плавные торможения и растормаживание. Для обеспечения равномерной силы тяги в начале и в конце движения якорю и упору в крышке электромагнита придают коническую форму.

Недостатки тормозных электромагнитов постоянного тока — относительно большое время срабатывания мощных тормозов, необходимость в источнике питания постоянного тока, а также тяжелые условия коммутации цепей мощных тормозов.

К числу наиболее распространенных приводов крановых тормозов относятся короткоходовые электромагниты переменного однофазного тока, выпуск которых составляет около 65 % выпуска всех остальных видов тормозных приводов. В настоящее время

отечественная промышленность изготавливает такие электромагниты двух типов: МО-100 и МО-200 для тормозов со шкивами диаметром 100 и 200 мм соответственно. Электромагниты имеют шихтованный магнитопровод из электротехнической стали и поворотный якорь, который при включении электромагнита нажимает на приводной шток тормоза, обеспечивая его растормаживание. Из-за отсутствия демпфера в электромагните при его включении происходит сильный удар якоря о магнитопровод и возникают большие механические усилия, ограничивающие область применения электромагнитов данной серии.

Длинноходовые электромагниты переменного трехфазного тока используются в грузовых тормозах и механизмах с небольшим числом включений. Такие электромагниты применяются также в беспружинных тормозах с высокой степенью надежности торможения, например мощных пассажирских лифтов, эскалаторов и т. п. Электромагнит переменного трехфазного тока серии КМТ изображен на рис. 1.55.

Электромагниты переменного тока обладают рядом недостатков, основными из которых являются:

- 1) относительно малая износостойкость, приемлемая только для небольших тормозов;
- 2) сильные удары при включении, недостаточно амортизируемые даже специальными демпфирующими устройствами;
- 3) значительные токи включения, в 7...30 раз превышающие номинальные токи при замкнутом магнитопроводе;
- 4) быстрый выход из строя катушек при заедании системы с разомкнутым магнитопроводом.

В последнее время в приводах крановых тормозов зачастую устанавливают длинноходовые электрогидравлические толкатели, которые по сравнению с электромагнитами имеют ряд преимуществ: повышенную износостойкость, пониженный расход меди на обмотки, намного меньшую массу, однотипность изготовления, значительно меньшую пусковую мощность и расход электроэнергии, плавность процесса торможения, отсутствие ударов и большую надежность. Электрогидравлические толкатели на усилие 16...80 даН изготавливают в одноштоковом исполнении с погруженным в рабочую жидкость электродвигателем, на усилие 160, 300 и 600 даН — в двухштоковом исполнении с электродвигателем, изолированным от рабочей жидкости.

Электрогидравлические толкатели невзаимозаменяемы с электромагнитами и устанавливаются в тормозах специальной конструкции.

На рис. 3.9 показан электрогидравлический толкатель, состоящий из асинхронного электродвигателя 1, на вал которого насажена крыльчатка 8 центробежного насоса, расположенного в корпусе 10. В последнем находятся также золотник 9 и поршень 7, с которым связаны два симметрично расположенных штока 2, выходящие из корпуса с обеих сторон электродвигателя через специальные уплотнительные сальники.

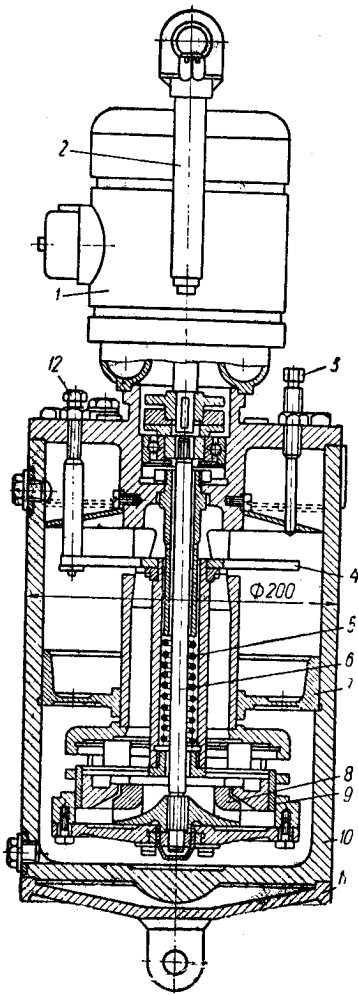
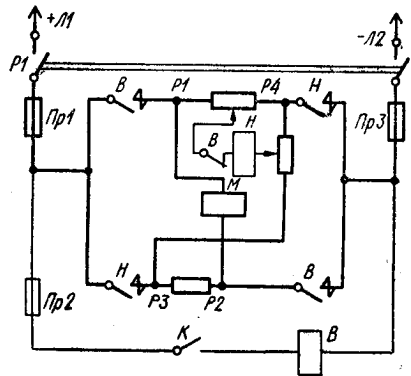


Рис. 3.9. Электрогидравлический толкатель

Рис. 3.10. Принципиальная схема панели управления типа ПМС



При вращении вала электродвигателя в золотниковой коробке создается избыточное давление, золотник 9 поднимается и открывает золотниковое отверстие. Рабочая жидкость перекачивается из пространства над поршнем под поршень и поднимает поршень вместе со штоками вверх. При остановке двигателя поршень под действием внешней нагрузки и собственной массы опускается вниз и вытесняет жидкость в верхнюю часть цилиндра, пружина 5 опускает золотник вниз и закрывает золотниковое отверстие.

Ход штоков вверх регулируется шпилькой 3, которая ограничивает перемещение крестовины 4 вверх. Одновременно регулируется и время работы толкателя, так как ограничение хода крестовины уменьшает степень открывания золотникового отверстия и вызывает замедление движения штоков. Ход штоков вниз регулируется

ется шпилькой 12 с удерживающим кольцевым выступом, замедляющим движение штока. Корпус 10 закрывается снизу поддоном 11 с герметизированными уплотнениями.

Применение двух штоков в мощных электрогидравлических толкателях является вынужденным из-за верхнего расположения электродвигателя.

Несмотря на сложность конструкции, необходимость контроля и замены уплотнений и рабочей жидкости (обычно применяется трансформаторное масло) электрогидравлические толкатели постепенно вытесняют электромагниты.

На кранах для транспортирования грузов из ферромагнитных материалов устанавливаются грузоподъемные электромагниты постоянного тока серий М и ПМ. Масса поднимаемого груза может быть самой разной: стальной стружки и стального скрапа — 200...1800 кг, чугунных и стальных болванок или плит — 6...12 т. Катушки электромагнитов рассчитаны на номинальное напряжение 220 В при номинальной ПВ = 50%. Напряжение питания вырабатывают двигатель-генераторные или выпрямительные установки.

Для управления грузоподъемными электромагнитами серийно выпускается панель (магнитный контроллер) типа ПМС, принципиальная схема которой изображена на рис. 3.10. Управление электромагнитом по данной схеме производится следующим образом. При включении командоконтроллера *К* подается напряжение на контактор намагничивания *В*, замыкающие контакты которого подключают электромагнит к сети. При этом по катушке *М* электромагнита протекает номинальный ток (10А и выше), а параллельно включенное разрядное сопротивление (*Р1-Р4*, *Р4-Р3*, *Р3-Р2*) обтекается током меньшего значения. Катушка контактора *Н* не обтекается током благодаря последовательно включенному размыкающему вспомогательному контакту *В*, разомкнутому при включенном контакторе *В*.

При отключении командоконтроллера *К* замыкающие контакты контактора *В* размыкаются, электромагнит кратковременно выключается и автоматически включается на обратную полярность, а после отпадания груза окончательно отключается от источника питания. Такое включение электромагнита обеспечивает размагничивание груза, что способствует быстрому его отпаданию. Разрядное сопротивление служит для регулирования времени отключения контактора *Н*, которое происходит при достижении током размагничивания значения, равного 10...20 % рабочего тока холодной катушки, т. е. практически после размагничивания и отпадания груза.

Следует отметить, что готовится к выпуску новая серия подъемных электромагнитов повышенной грузоподъемности (до 1,8...45 т) при номинальной ПВ = 60%. В этой серии будут улучшены тяговые характеристики (с минимальным расходом активных материалов) и повышены надежность и долговечность электромагнитов.

3.4. УПРАВЛЕНИЕ КРАНОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ С ПОМОЩЬЮ СИЛОВЫХ КУЛАЧКОВЫХ КОНТРОЛЛЕРОВ

Электроприводы с регулированием сопротивления в цепи ротора асинхронного двигателя благодаря простоте реализации данного метода регулирования их скорости наиболее широко применяются в крановых установках и составляют основную часть находящихся в эксплуатации и выпускаемых промышленностью крановых электроприводов.

Ряды комплектных электроприводов включают в себя все типы крановых двигателей с фазным ротором серий МТФ и МТН (взамен МТВ и МТМ) мощностью 1,2...200 кВт и выпускаются отдельно для механизмов подъема и передвижения крановых устройств. Мощность управляемых силовыми кулачковыми контроллерами ККТ61 и ККТ62 двигателей в режиме Л не превышает 30 кВт (при ПВ = 40%) и 45 кВт при использовании контроллеров ККТ68. По схемным решениям и механическим характеристикам электроприводы механизмов подъема и передвижения полностью идентичны. Особенностью их является осуществление тормозных режимов на характеристиках противовключения. Спуск грузов в режиме рекуперативного торможения возможен только на сверхсинхронных частотах вращения.

На рис. 3.11 изображена принципиальная схема кранового электропривода с силовым кулачковым контроллером типа ККТ61А. Часть схемы, относящаяся к контроллеру, обведена штрих-пунктирной линией. Контроллер имеет по пять фиксированных рабочих положений для каждого направления движения и одно фиксированное нулевое положение, обеспечивая ступенчатые пуск и регулирование частоты вращения, реверс и торможение электродвигателя. Регулирование частоты вращения осуществляется путем изменения сопротивления в цепи ротора. Диаграмма замыкания и размыкания контактов контроллера симметрична для обоих направлений вращения двигателя.

Включение электродвигателя и изменение направления его вращения производятся контактами K_2 , K_4 , K_6 и K_8 , которые коммутируют и изменяют последовательность чередования двух фаз обмоток статора. Коммутирование ступеней резисторов ротора осуществляется контактами K_7 , K_9 , ..., K_{12} . При этом ступени резисторов включаются по несимметричной схеме.

Для останковки двигателя после его отключения от сети предусмотрен тормоз с приводом от электромагнита $ТМ$, который подключен к выводам статора. Контакты цепи управления K_1 , K_3 и K_5 используются для обеспечения нулевой, максимальной (реле $РМ$) и концевой (выключатели $ВКН$ и $ВКВ$) защит, воздействующих на линейный контактор $КЛ$ защитной панели ПЗКБ. В цепь катушки контактора $КЛ$ включаются контакты кнопки выключения $КнВ$, аварийного выключателя $АВ$ и контакты блокировки люка $КБЛ$.

Кулачковый контроллер типа ККТ61А, как и другие кулачко-

вые контроллеры (типов ККТ62А и ККТ68А), отличает невысокое качество регулирования скорости двигателя. Действительно, пониженная скорость двигателя может быть реализована только при работе в I и III квадрантах по характеристикам 1 и 2 (рис. 3.12) при достаточно больших моментах нагрузки. Пониженные скорости при меньших нагрузках, а также при работе в генераторном режиме (II и IV квадранты) могут быть получены лишь путем переключений контроллера с одной позиции на другую (изменением сопротивлений) и периодическим накладыванием механического тормоза при установке контроллера в нулевое положение.

Применение динамического торможения в электроприводе с регулированием сопротивления в цепи ротора двигателя позволяет значительно улучшить регулировочные и энергетические показатели привода. При этом наиболее целесообразным оказывается ис-

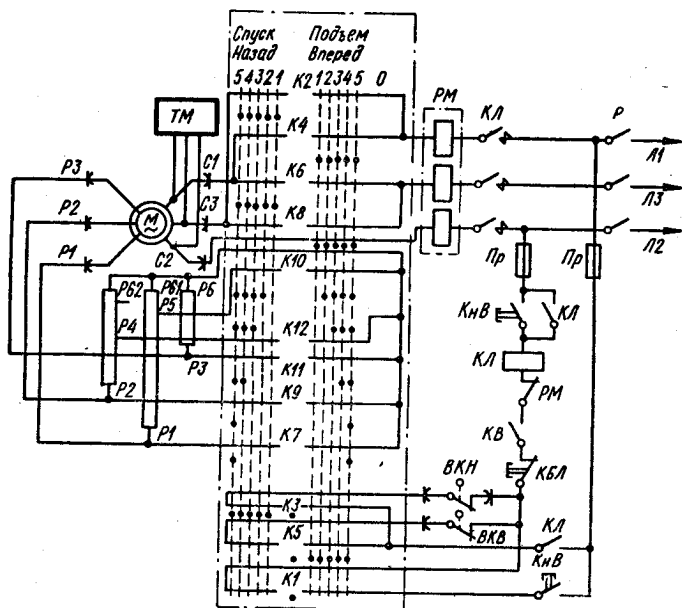


Рис. 3.11. Принципиальная схема кранового электропривода с силовым кулачковым контроллером типа ККТ61А

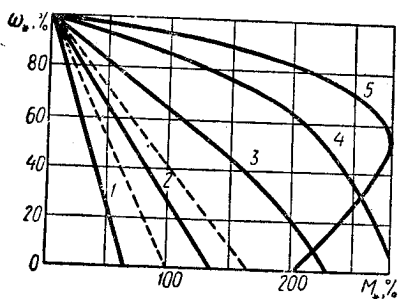


Рис. 3.12. Механические характеристики кранового электропривода с силовыми контроллерами типов ККТ61А, ККТ62А и ККТ68А

пользование режима динамического торможения с самовозбуждением.

На рис. 3.13 показана принципиальная схема кранового электропривода с силовым кулачковым контроллером типа ККТ65А и динамическим торможением. Эта схема обеспечивает ступенчатые пуск и регулирование скорости, реверс и торможение электродвигателя. Контроллер имеет по пять фиксированных положений для каждого направления движения и одно фиксированное нулевое положение.

Механические характеристики электропривода для различных положений контроллера ККТ65А показаны на рис. 3.14 (на этом же рисунке соответствующие характеристики при использовании контроллера типа ККТ69А обозначены индексами со штрихом). Регулирование частоты вращения по ступеням в сторону подъема осуществляется (так же, как и при установке контроллера типа ККТ61А) путем простого изменения сопротивления резисторов в цепи ротора, а в сторону спуска — путем изменения сопротивления в цепи ротора двигателя, работающего в режиме динамического торможения с самовозбуждением.

Принцип динамического торможения с самовозбуждением основан на подключении статора электродвигателя к выпрямленному напряжению ротора. От обычной схемы динамического торможения система с самовозбуждением отличается автоматической зависимостью тока возбуждения от нагрузки двигателя, а также отсутствием понижающего трансформатора.

Крановый электропривод, выполненный с применением контроллера типа ККТ65А или ККТ69А, отличается сравнительно высокими энергетическими показателями, поскольку в режиме динамического торможения с самовозбуждением из сети потребляется незначительная энергия. При использовании контроллера типа ККТ65А для повышения надежности электропривода начальное подмагничивание производится на нулевом положении контроллера при включенном линейном контакторе *КЛ* защитной панели ПЗКБ. Выпрямленный ток подпитки протекает по контуру (см. рис. 3.13): фаза *Л2* — контакты контактора *КД* — цепь катушки реле *РКТ*. Реле *РКТ* предназначено для контроля тока в контуре подпитки. При установке контроллера типа ККТ69А цепь с реле *РКТ*, введенная в силовую часть двигателя, отключается на нулевом положении контактором *КД* в целях снижения потерь в контуре подпитки. Отключение это происходит не сразу, а с выдержкой времени, определяемой реле *РУ*. Такая задержка требуется для обеспечения динамического торможения при остановке электропривода.

Схема цепи динамического торможения выполнена с последовательным соединением выпрямительного моста и пускорегулирующих резисторов, которые включены на стороне переменного тока. Особенностью этой схемы является потенциометрическое включение выпрямительного моста, при котором его входное сопротивление на порядок ниже сопротивлений нерегулируемых ступеней

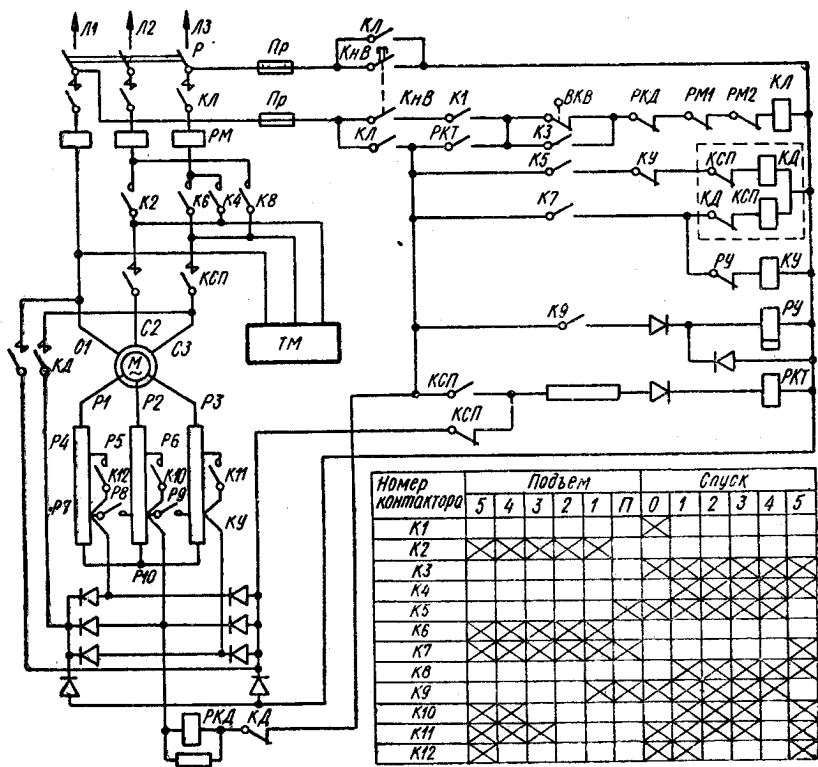


Рис. 8.13. Принципиальная схема кранового электропривода с силовым кулачковым контроллером типа КК165А и диаграмма замыкания его контактов

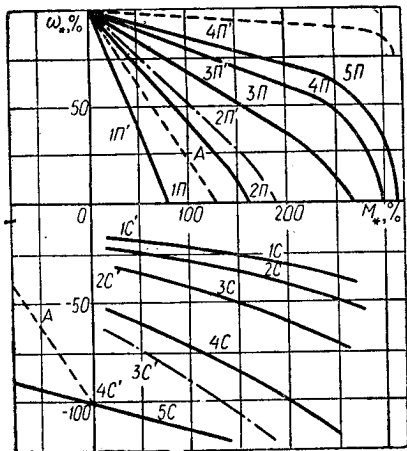


Рис. 3.14. Механические характеристики электроприводов с силовыми кулачковыми контроллерами типов ККТ65А и ККТ69А

P10—P7, P8 и P9 резисторов, благодаря чему контур переменного тока всегда замкнут, что значительно повышает надежность схемы.

Применение цепи динамического торможения с самовозбуждением позволяет получить достаточно жесткие механические характеристики электропривода на спуске, обеспечивающие устойчивые посадочные скорости, что очень важно для механизма подъема крана.

Режим динамического торможения реализуется во всех положениях спуска, кроме последнего, на котором двигатель питается от сети с невыключаемыми ступенями резисторов в цепи его ротора, необходимость в которых определяется условиями обеспечения нормальных пусков при заданном числе ступеней резисторов.

На рис. 3.13 изображена таблица замыкания контактов силового кулачкового контроллера при подъеме и спуске груза. Используя эту таблицу, можно построить схемы роторной цепи для всех позиций контроллера подобно тому, как это было показано на рис. 1.29.

Особенностью построения схем электропривода на положениях подъема является наличие промежуточного нефиксированного положения «*П*» между нулевым и первым положениями, предусмотренное для исключения состояния, когда могут быть одновременно отключены контакты *КД* и *КСП*, что опасно, поскольку при остановке двигателя возможно падение груза. Чтобы этого не произошло, контакт *К7* при переводе контроллера из нулевого в первое положение должен замыкаться раньше, чем разомкнется контакт *К5*. Контакторы *КД* и *КСП* электрически и механически заблокированы между собой в целях предотвращения возможности короткого замыкания в случае их одновременного включения.

Определенным преимуществом контроллера типа *ККТ65А* по сравнению с контроллером типа *ККТ61А* является то, что он допускает автоматический разгон двигателя при его установке из нулевого сразу в крайнее положение. Это происходит потому, что контактор *КУ* включается с выдержкой времени, что обеспечивает двухступенчатый разгон двигателя.

Кулачковый контроллер типа *ККТ65А* применяется вместе с защитной панелью *ПЗКБ*, обеспечивающей нулевую (контактор *КЛ*), максимальную (реле *РМ*) и конечную (выключатель *ВКВ*) защиты. Для осуществления режима динамического торможения с самовозбуждением предусмотрена отдельная панель *ТРД160*, на которой размещены следующие аппараты: контакторы *КД*, *КСП*, *КУ* и реле *РУ*, *РКТ*. Там же размещается реле контроля диодов *РКД*, которое срабатывает в случае пробоя любого из диодов выпрямительного блока в цепи ротора.

На рис. 3.15 показана принципиальная схема кранового электропривода на постоянном токе с силовым кулачковым контроллером типа *КВ1-02*, используемая в механизмах подъема исключительно для управления крановыми двигателями последовательного возбуждения. Схема обеспечивает ступенчатые пуск и регулирование скорости, реверс и торможение. Контроллер имеет по пять

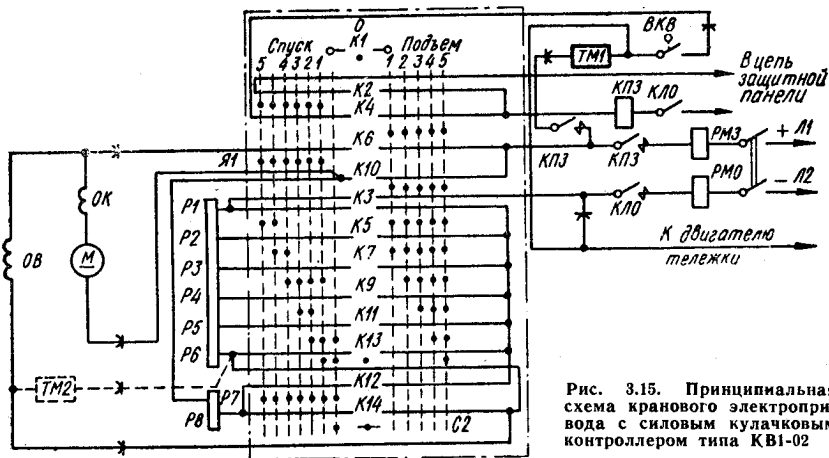
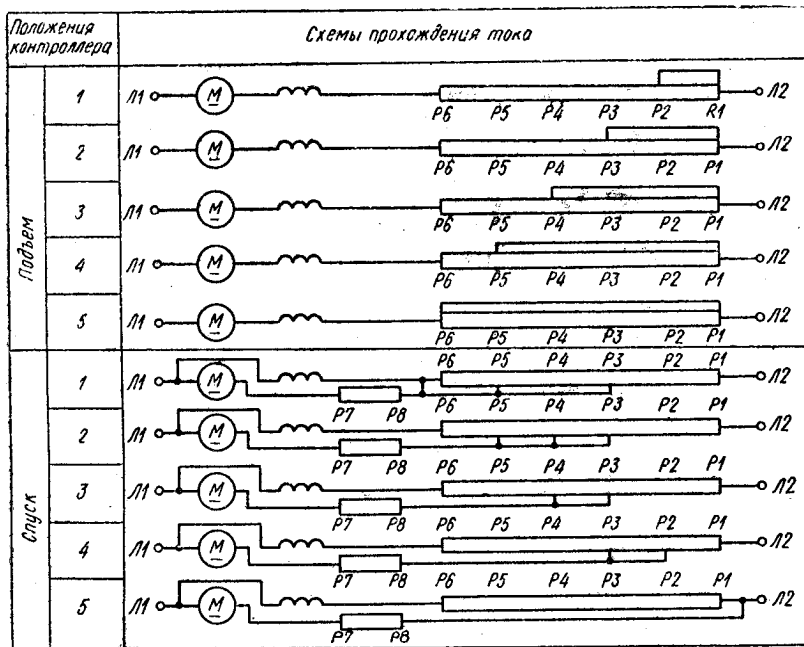


Рис. 3.15. Принципиальная схема кранового электропривода с силовым кулачковым контроллером типа КВ1-02

Таблица 3.2. Развернутые схемы токопрохождения положений контроллера КВ1-02



фиксированных положений для каждого направления движения (спуск и подъем) и одно фиксированное нулевое положение.

Развернутые схемы токопрохождения положений контроллера КВ1-02 приведены в табл. 3.2, а соответствующие механические характеристики кранового электропривода изображены на рис. 3.16.

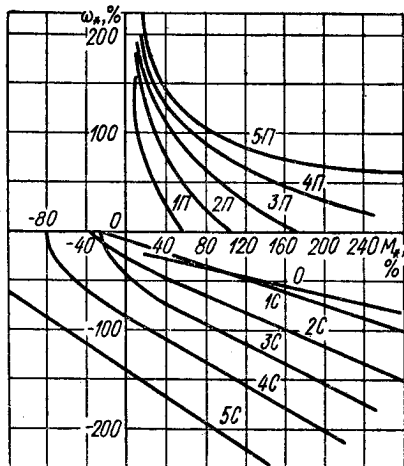


Рис. 3.16. Механические характеристики кранового электропривода с силовым кулачковым контроллером типа КВ1-02

Двигатели последовательного возбуждения обладают большими перегрузочными свойствами, имеют благоприятную естественную механическую характеристику на подъеме легких грузов и ненагруженного крюка, когда происходит автоматическое повышение скорости электропривода. Кроме того, схема управления такими двигателями позволяет получить надежное электрическое торможение и требует минимального числа троллеев для подвода тока. Однако двигатели последовательного возбуждения непригодны для условий работы привода в сторону спуска груза (отсутствует автоматический переход из двигательного в генераторный режим). Чтобы обеспечить работу в данном режиме,

приходится создавать искусственные механические характеристики путем подключения якоря к обмоткам последовательного возбуждения по известной потенциометрической схеме. Эта схема позволяет реализовать также устойчивые малые посадочные скорости (характеристика 1С на рис. 3.16) и применяется на всех положениях спуска. По мере перевода контроллера с нулевого на последующие положения спуска постепенно увеличиваются сопротивления в цепи обмотки возбуждения (ослабляется поле возбуждения двигателя) и уменьшаются сопротивления в цепи якоря (повышается напряжение на его зажимах), чем достигается увеличение частоты вращения двигателя. На положениях подъема ее регулирование производится простым изменением сопротивлений в цепи якоря двигателя.

В нулевом положении контроллера типа КВ1-02 двигатель отключается от сети и затормаживается механическим тормозом с электромагнитами последовательного ($ТМ2$) или параллельного ($ТМ1$) возбуждения (см. рис. 3.15). Катушка электромагнита $ТМ2$ включается последовательно с обмоткой возбуждения $ОВ$ двигателя. При этом в контроллере необходимо снять перемычку $С2-Р6$. Цепь катушек тормоза $ТМ1$ замыкается контактами контактора $КПЗ$, управление которым осуществляется с помощью контактов $К3$ контроллера.

В контроллере типа КВ1-02 наряду с механическим предусмотрено также электрическое (динамическое) торможение с самовозбуждением. При этом якорь двигателя включается вместе с обмоткой $ОВ$ на сопротивление резистора $Р7-Р8$, что повышает надежность работы привода, поскольку даже при неисправности механического тормоза будет происходить не падение груза, а спуск его с малой скоростью, соответствующей механической характе-

ристике электропривода в нулевом положении контроллера (рис. 3.16).

Контроллер типа КВ1-02 применяется вместе с защитной панелью ППЗБ150, на которой размещаются контакторы *КП1* (механизма передвижения тележки), *КП2* (механизма передвижения моста) и общий для всех механизмов линейный контактор *КЛО*, чем обеспечиваются нулевая (контактором *КЛО*), максимальная (реле *РМ*) и конечная (выключателями *ВКВ* и *ВКН*) защиты.

3.5. УПРАВЛЕНИЕ КРАНОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ С ПОМОЩЬЮ МАГНИТНЫХ КОНТРОЛЛЕРОВ

Управление электроприводами механизмов кранов средней и большой производительности, особенно при напряженном режиме работы с высокой частотой включений, осуществляется, как правило, с помощью магнитных контроллеров. При этом в кабине машиниста устанавливается только командоконтроллер, имеющий небольшие размеры, а остальная аппаратура выносится на мост крана. Применение магнитных контроллеров повышает производительность крановой установки, так как позволяет более полно использовать двигатели при пуске и торможении и длительно эксплуатировать их без ремонтов. Следует все же отметить, что электрооборудование крановых механизмов с магнитными контроллерами гораздо сложнее и дороже, чем механизмов с силовыми кулачковыми контроллерами. Поэтому на многих кранах совместно используются магнитные и силовые контроллеры; первые устанавливаются на механизмах подъема, а вторые — на механизмах передвижения.

Для управления крановыми электроприводами переменного тока применяют магнитные контроллеры серий ТСА, ТСАЗ, КС и ДКС, различающиеся между собой системой питания. Цепи управления контроллеров серий ТСА и ТСАЗ питаются переменным током, а серий КС и ДКС — постоянным.

На рис. 3.17 и 3.18 изображены типовые принципиальные схемы крановых электроприводов с магнитными контроллерами серий ТСА и КС. Типовые механические характеристики этих приводов при различных положениях контроллеров показаны на рис. 3.19, где за 100% приняты момент номинальной статической нагрузки и синхронная угловая скорость двигателя. Обе схемы обеспечивают автоматический пуск, реверсирование и торможение двигателей, а также концевую защиту. Аппараты нулевой и максимальной защит вынесены на защитную панель. Управление осуществляется с помощью командоконтроллера, имеющего по четыре фиксированных рабочих положения при подъеме и спуске груза. На положениях подъема пуск и регулирование скорости электропривода осуществляются изменением сопротивления резисторов, включенных в цепь ротора двигателя.

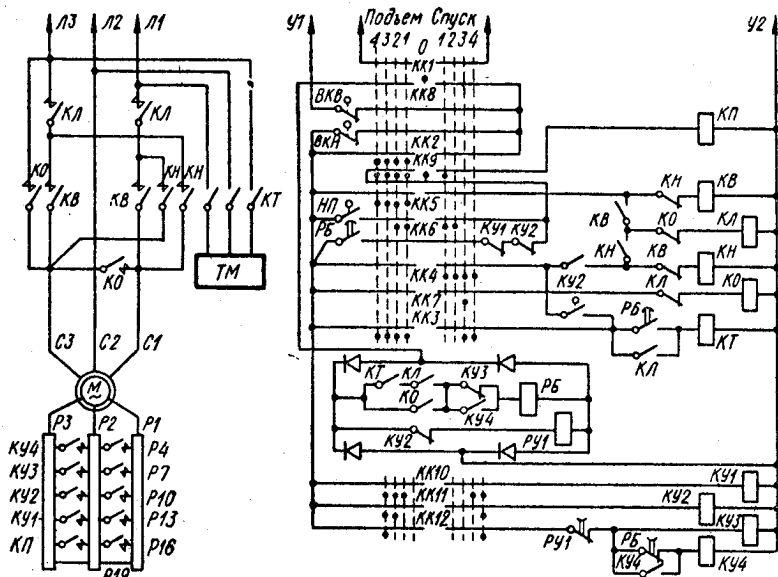


Рис. 3.17. Принципиальная схема кранового электропривода с магнитным контроллером серии ТСА

Первое положение, на котором реализуется минимальный пусковой момент, служит для выбора слабины троса и подъема легких грузов на пониженной скорости (характеристика 1П). Подъем с малой скоростью тяжелых грузов производится на втором положении (характеристика 2П). На третьем положении осуществляется первая ступень разгона электродвигателя (характеристика 3П), причем пусковой ток в этом случае меньше тока уставки максимальных реле. Две последние ступени пуска происходят автоматически под контролем реле времени $PY1$, $PY2$ (контроллеры серии КС) и $PY1$, PB (контроллеры серии ТСА) на характеристиках 4П и 4'П.

При спуске груза регулирование скорости электропривода обеспечивается в режимах противовключения на первом и втором положениях (характеристики 1С и 2С) и однофазного торможения на третьем положении (характеристика 3С) контроллера. На четвертом положении, когда сопротивление резисторов выведено полностью, производится спуск груза с наибольшей скоростью (характеристика 4С). Первое и второе положения используются в основном для небольших скоростей спуска грузов, близких к номинальному грузу.

Ступени резисторов в цепи ротора выводятся с помощью контакторов ускорения $KY1, \dots, KY4$ и контактора противовключения $KП$. Схема однофазного торможения формируется при включении контакторов $K0$, $KН$ (контроллеры серии ТСА) и $KВ2$, $KН2$

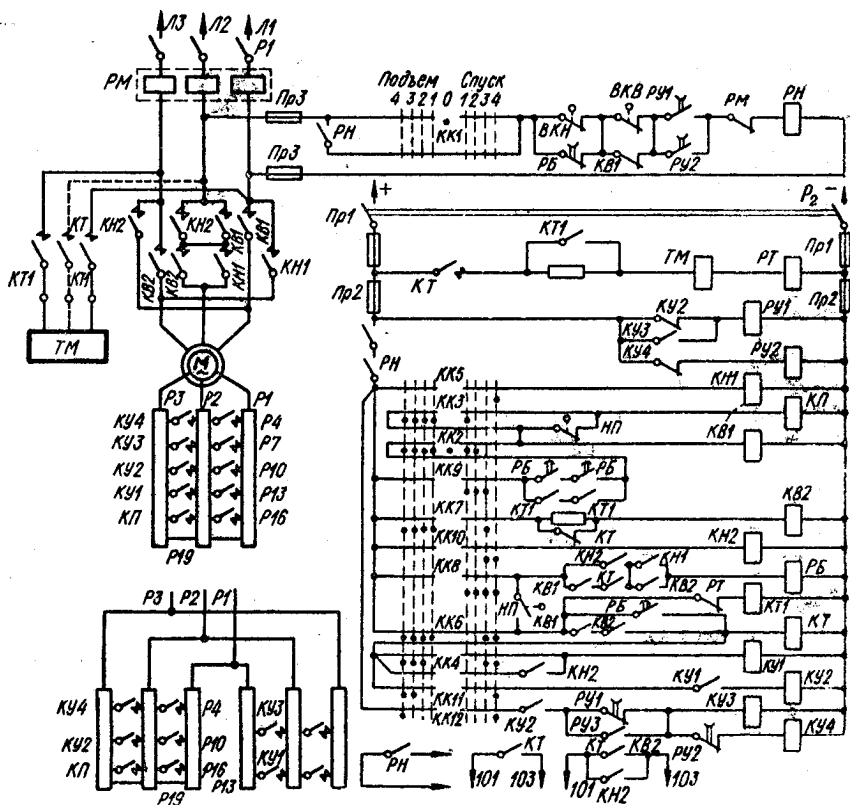


Рис. 3.18. Принципиальная схема кранового электропривода с магнитным контроллером серии КС

(контроллеры серии КС) в цепи статора и контактора ускорения $KУ1$ в цепи ротора. Для исключения одновременности включения контакторы $KО$ и $KП$, $KВ2$ и $KН2$, $KН$ и $KВ$ соответственно парно механически заблокированы. В контроллерах серии ТСА эти контакторы заблокированы еще и электрически. При спуске тяжелых грузов с тем, чтобы не получилось недопустимо большой скорости на третьем положении контроллера, можно сразу обеспечить включение первого или второго положения, нажав ножную педаль спуска тяжелых грузов $НП$.

В обеих схемах (рис. 3.17 и 3.18) предусмотрено (с помощью контактора KT) включение электромагнитного тормоза TM для обеспечения механического торможения двигателя до его полной остановки. При этом в схеме, показанной на рис. 3.18, допускается применение тормозных магнитов переменного и постоянного тока. В последнем случае предусмотрено форсирование включения тормоза, осуществляемое контактором $KT1$ и реле PT , которое настраивается на срабатывание при токе, равном номинальному

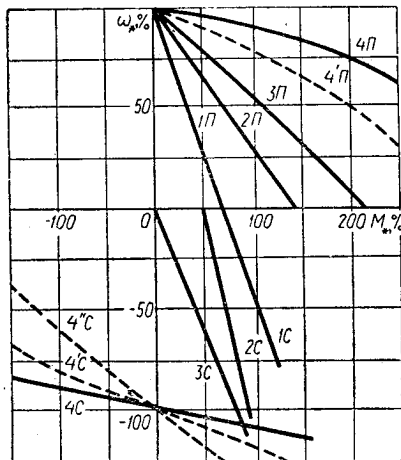


Рис. 3.19. Механические характеристики крановых электроприводов с магнитными контроллерами серий ТСА и КС

току «холодной» катушки электромагнита тормоза при $PВ = 25\%$.

При переводе рукоятки командоконтроллера с положений спуска в нулевое положение и нажатой педали *НП* на первом и втором положениях или с четвертого (третьего) положения спуска в нулевое, первое либо второе положения (педаль *НП* не нажата) наряду с механическим обеспечивается и электрическое торможение в течение времени, определяемом выдержкой реле *РБ*. На это время формируется схема, соответствующая второму положению спуска. Во избежание чрезмерных скоростей спуска в аварийных режимах выдержка реле *РБ* должна быть не более 0,5 с. Для

получения торможения (при ненажатой педали *НП*) на втором положении спуска в схеме, изображенной на рис. 3.18, предусмотрено включение в цепь катушки контактора *КП* размыкающих контактов педали *НП*. Совмещение механического и электрического торможений повышает надежность работы электропривода и исключает просадку груза.

При использовании контроллеров серии *КС* на номинальный ток 400 А для снижения токовой нагрузки контактов контакторов, включенных в цепь ротора двигателя, предусматривается параллельное включение резисторов (см. левую нижнюю часть рис. 3.18). Такое же включение резисторов должно быть и при установке контроллеров на ток 250 А в случае, если токовая нагрузка контакторов роторной цепи превышает допустимую, поскольку последние рассчитаны на номинальный ток 160 А. Узел нулевой защиты при этом выполняется на переменном токе (реле *РН* получает питание от силовой цепи). Чтобы обеспечить такую защиту в случае исчезновения напряжения постоянного тока в цепи управления, катушка реле *РН* питается через замыкающие контакты реле ускорения *РУ1*, *РУ2*. Контакты аппаратов с выводами 101 и 103 используются в цепях сигнализации.

Для управления крановыми электроприводами постоянного тока с двигателями последовательного возбуждения применяют магнитные контроллеры серий П, ДП, ПС и ДПС, которые устанавливают на подъемных кранах с тяжелым режимом работы и числе включений до 900 в час. Наиболее часто такие краны используются на металлургических и машиностроительных предприятиях.

Магнитные контроллеры постоянного тока обеспечивают автоматический пуск, реверсирование и торможение двигателей. В схемах электроприводов с магнитными контроллерами предусмотрены

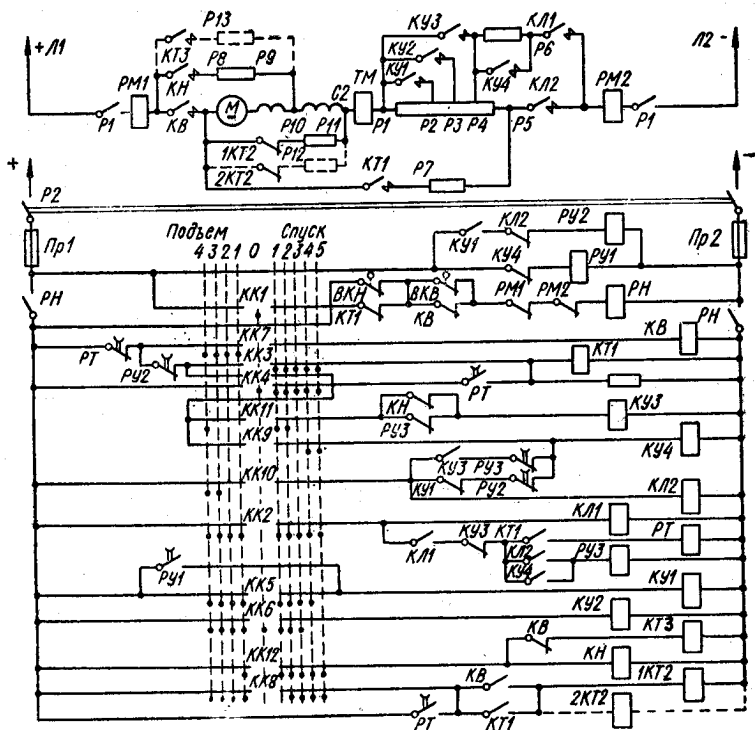


Рис. 3.20. Принципиальная схема кранового электропривода с магнитным контроллером типа ПС160

концевая защита (путевые выключатели серий ВКН и ВКВ), ограничивающая перемещение крановых механизмов за пределы рабочей зоны, а также максимальная токовая защита (реле серии РМ). При исчезновении напряжения на установке или снижении его до 45% номинального, как и в случае срабатывания максимальной токовой либо концевой защиты, нулевая защита (реле напряжения серии РН) позволяет произвести повторный пуск двигателя только с нулевого положения рукоятки командоконтроллера.

Регулирование частоты вращения и момента двигателя осуществляется изменением схемы включения и сопротивления резисторов в цепях якоря и обмотки возбуждения двигателя. Контроль ускорения при его пуске, реверсе и торможении может быть выполнен как по времени, так и по скорости. Окончательное торможение кранового механизма производится механическим тормозом с электромагнитным приводом.

На рис. 3.20 изображена принципиальная схема кранового электропривода с магнитным контроллером типа ПС160, имеющим четыре фиксированных положения на подъем и пять на спуск. Механические характеристики электроприводов с магнитными контроллерами серий ПС и ДПС показаны на рис. 3.21, а разверну-

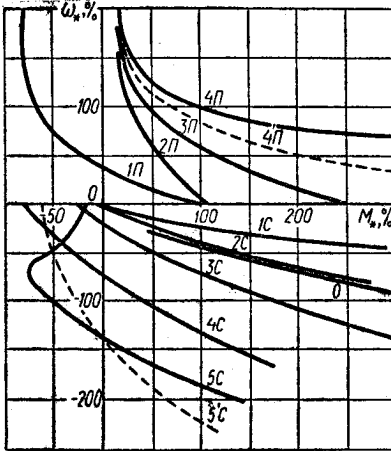


Рис. 3.21. Механические характеристики крановых электроприводов с магнитными контроллерами серий ПС и ДПС

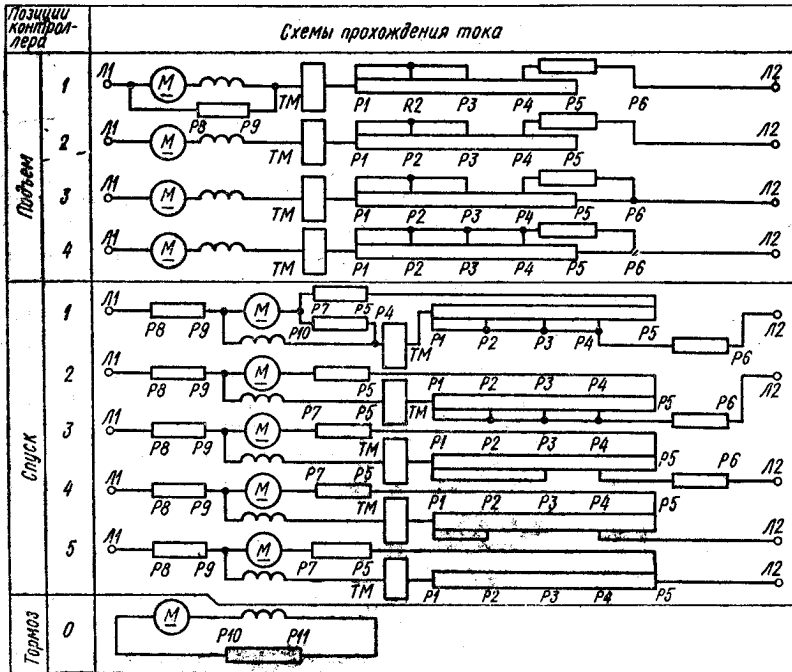
числового торможения через размыкающие контакты $KT2$, что определяет безотказное торможение двигателя и движение груза с малой скоростью, даже если вышел из строя механический тормоз.

тые схемы токопрохождения для всех положений контроллеров приведены в табл. 3.3.

Первое положение подъема, на котором предусматривается шунтирование якоря двигателя, служит для выбирания слабины троса и подъема легких грузов с малой скоростью. На последующих положениях подъема происходят разгон двигателя и регулирование его частоты вращения при различных нагрузках. Управление разгоном осуществляется с помощью реле $PY1, \dots, PY3$.

В нулевом положении двигателя механически заторможен. Одновременно в главной цепи сформирована схема его динамического

Таблица 3.3. Развернутые схемы токопрохождения для всех положений контроллеров



На положениях спуска обмотка возбуждения двигателя включается параллельно якорю через добавочный резистор, причем сопротивление в ее цепи постепенно увеличивается, а в цепи якоря уменьшается. Благодаря этому напряжение на зажимах якоря растет, а м. д. с. обмотки возбуждения падает, что приводит к повышению скорости спуска груза. При резком переводе рукоятки командоконтроллера на пятое положение спуска происходит последовательный переход с характеристики 4С на характеристику 5'С (на промежуточной позиции контроллера), затем на характеристику 5С, что вызывается запаздыванием отключения контактора КУ1 на выдержку времени РУ1, после чего контактор КУ1 размыкается и реле РУ2 включает контактор КЛ2. На пятом положении спуска в цепи обмотки возбуждения остается включенным резистор Р8—Р9, наличие которого позволяет получить дополнительное питание (подпитку) этой обмотки, когда двигатель работает в генераторном режиме при наличии груза.

Для ограничения тормозных токов в схеме предусмотрен контроль торможения с помощью реле времени РТ, выдержка которого выбирается в пределах 0,8...1 с.

3.6. КРАНОВЫЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ С ТИРИСТОРНЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ

Тиристорные преобразователи в электроприводе крановых механизмов все чаще используются в отечественной и зарубежной практике. Поскольку большая часть (примерно 80 %) эксплуатируемых крановых приводов составляют электроприводы с асинхронными двигателями и регулированием сопротивления в цепи их ротора, наибольший интерес представляет возможность применения тиристорных устройств для регулирования скорости именно этих двигателей. К таким устройствам относятся тиристорные преобразователи частоты и регуляторы напряжения, включаемые в цепь статора, а также импульсные регуляторы сопротивлений и токов в цепях двигателя. В крановых электроприводах главным образом применяются тиристорные регуляторы напряжения (ТРН) и широтно-импульсные регуляторы (ШИР), что обусловлено их относительной простотой и надежностью.

Включение тиристорных устройств в цепь статора асинхронного двигателя позволяет осуществлять его бесконтактную коммутацию и, главное, регулировать подводимое к статору напряжение. На рис. 3.22 показана простейшая схема включения по два встречно-параллельных тиристора в каждую фазу статора. Напряжение питания двигателя регулируется симметричным изменением угла открывания α тиристорных устройств. Сигналы с так называемой системы импульсно-фазового управления (СИФУ) должны следовать с частотой питающего напряжения и быть синхронизированы с напряжением на аноде соответствующего тиристора.

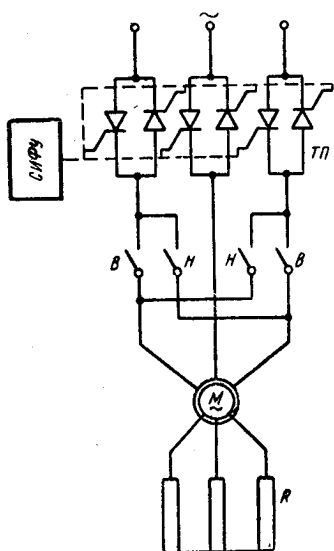


Рис. 3.22. Схема включения тиристоров в цепь статора асинхронного двигателя

Известно, что при $\alpha \ll \varphi$ (φ — фазовый угол нагрузки, определяемый в данном случае параметрами двигателя, сопротивлением цепи ротора и скольжением) через фазы протекает непрерывный синусоидальный ток, а к двигателю прикладывается полное напряжение сети. При увеличении α форма кривой напряжения, приложенного к статору, искажается, среднее значение напряжения снижается, что позволяет получить семейство регулировочных механических характеристик двигателя.

СИФУ формирует импульсы с крутым фронтом и шириной около 60° , перемещая их в интервале от φ до 150° по отношению к синусоиде питающего напряжения соответствующей фазы.

Асинхронный электропривод с ТРН (ТРН — АД) может удовлетворять многим требованиям, предъявляемым к механизмам подъема и горизонтального перемещения кранов. Обеспечивается нужный диапазон регулирования скорости при подъеме и тормозном спуске грузов. Автоматический переход из двигательного режима в тормозной и наоборот осуществляется с помощью несложного узла, вводимого в цепи управления.

Одним из наиболее перспективных способов регулирования частоты вращения асинхронных двигателей является изменение частоты и амплитуды подводимого к статору напряжения. Этот способ даже в случае простейших асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором позволяет получить жесткие механические характеристики электропривода без о.с. Потери скольжения при этом незначительны, так как двигатель работает на линейных участках характеристик, т. е. при малых скольжениях. При наличии соответствующих источников регулируемой частоты удастся обеспечить требуемую плавность регулирования в двигательном и тормозном режимах.

Тиристорные преобразователи частоты бывают двух видов: с промежуточным звеном постоянного тока и автономным инвертором (ТПЧИ) и с непосредственной связью питающей сети и нагрузкой (ТПЧН). На рис. 3.23 показано подключение обмоток статора асинхронного двигателя к ТПЧН, собранному по трехфазной нулевой схеме, наиболее приемлемой для крановых электроприводов. Применение ТПЧН оправдано для крановых механизмов среднего и тяжелого режимов эксплуатации, особенно

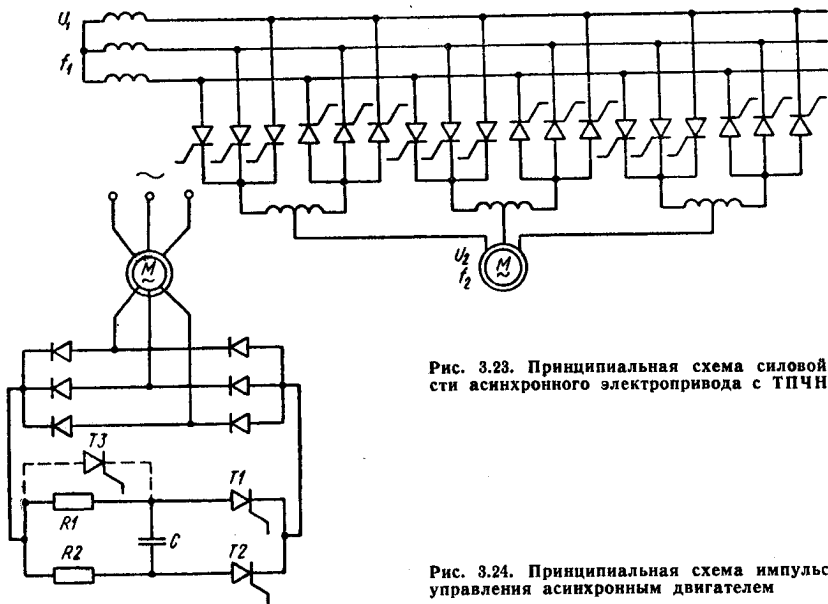


Рис. 3.23. Принципиальная схема силовой части асинхронного электропривода с ТПЧН

Рис. 3.24. Принципиальная схема импульсного управления асинхронным двигателем

если относительное время работы на пониженных скоростях достаточно большое и использование ТРН привело бы к завышению мощности двигателя.

Для крановых механизмов создаются также системы асинхронного электропривода, в которых управление двигателем осуществляется путем широтно-импульсного регулирования сопротивления в цепи ротора. Принципиальная схема такого регулирования изображена на рис. 3.24. В роторную цепь двигателя включена схема, позволяющая изменять эквивалентное сопротивление в цепи выпрямленного тока ротора в пределах от нуля до бесконечности и осуществлять таким образом регулирование тока в роторе от максимального значения до нуля.

В первом квадранте механических характеристик в области, ограниченной осью скоростей и реостатной характеристикой, двигатель работает в импульсном режиме. При этом на тиристор $T3$ управляющие импульсы не поступают, и он остается все время закрытым. Схема, осуществляющая импульсный режим работы двигателя, состоит из рабочего тиристора $T1$, вспомогательного тиристора $T2$, коммутирующего конденсатора C и резисторов $R1$, $R2$. При открытом тиристоре $T1$ ток протекает через резистор $R1$. Конденсатор C заряжается до напряжения, равного падению напряжения на $R1$. Когда управляющий импульс подается на тиристор $T2$, напряжение конденсатора, будучи приложенным в обратном направлении к тиристору $T1$, закрывает его. Одновременно происходит перезаряд конденсатора. Наличие ин-

дуктивности двигателя приводит к тому, что процесс перезаряда конденсатора носит колебательный характер, вследствие чего тиристор T_2 закрывается самостоятельно (без подачи управляющих сигналов), а цепь ротора оказывается разомкнутой. Затем подается управляющий импульс на тиристор T_1 и процессы повторяются.

Таким образом, при периодической подаче управляющих сигналов на тиристоры какую-то часть периода в роторе протекает ток, определяемый сопротивлением резистора R_1 . В другую часть периода цепь ротора оказывается разомкнутой и момент, развиваемый двигателем, равен нулю, а его рабочая точка находится на оси скоростей. Изменяя относительную ПВ тиристора T_1 в течение периода, можно получать средний момент двигателя от нуля до максимального значения, соответствующего работе на реостатной характеристике при введении в цепь ротора резистора R_1 . Путем использования различных о.с. можно получить характеристики желаемого вида в области, ограниченной осью скоростей и реостатной характеристикой. Для перехода в область, ограниченную реостатной и естественной характеристиками, нужно, чтобы тиристор T_2 оставался все время закрытым, а тиристор T_1 — открытым. Закорачивая резистор R_1 с помощью тиристора T_3 , можно плавно изменять сопротивление в цепи ротора от значения R_1 до нуля, обеспечивая тем самым выход двигателя на естественную характеристику. Импульсный режим работы двигателя с коммутацией в цепи ротора может быть осуществлен и в режиме динамического торможения.

Тиристорные электроприводы постоянного тока по своим характеристикам в наибольшей степени удовлетворяют требованиям, предъявленным к крановым механизмам. Однако применение их оправдано только для мощных крановых механизмов (50 кВт и выше), а также в тех случаях, когда требуются большой диапазон регулирования скорости (более 10:1) и специальные механические характеристики. Наиболее целесообразно использование электроприводов с тиристорными преобразователями (система ТП—Д) в механизмах крупных плавучих, порталных и монтажных кранов, а также кранов металлургического производства (литейных, разливочных и др.).

На рис. 3.25 показаны наиболее распространенные принципиальные схемы реверсивного кранового электропривода с трехфазными тиристорными преобразователями.

Рассмотрим работу преобразователя (рис. 3.25, а) в различных режимах. Двигательный режим в I (III) квадранте осуществляется, когда тиристоры T_1, \dots, T_3 (T_4, \dots, T_6) работают в режиме выпрямления, а тиристоры T_4, \dots, T_6 (T_1, \dots, T_3) при этом либо закрыты, либо подготовлены для работы инвертором. Во II (IV) квадранте группа тиристоров T_4, \dots, T_6 (T_1, \dots, T_3) является инверторной, а остальная их группа либо закрыта, либо подготовлена для работы в режиме выпрямления.

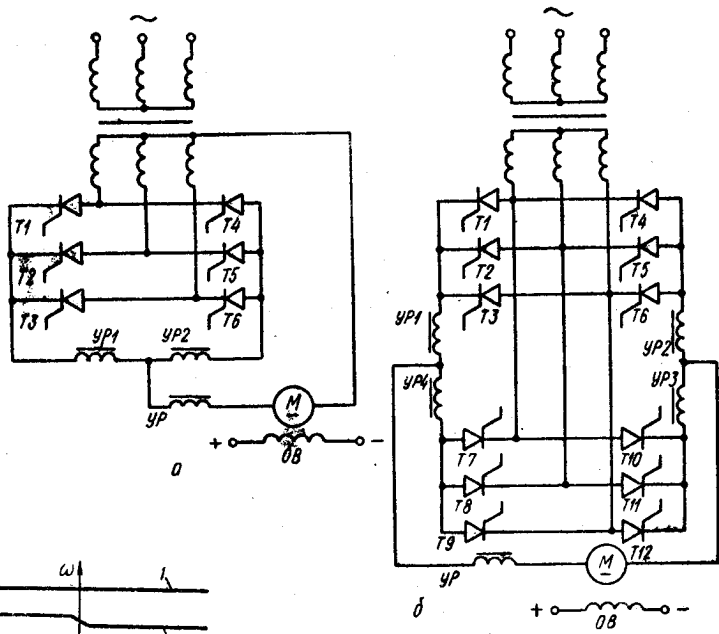


Рис. 3.25. Принципиальные схемы реверсивного кранового электропривода с трехфазными тиристорными преобразователями:
 а — нулевая; б — мостовая

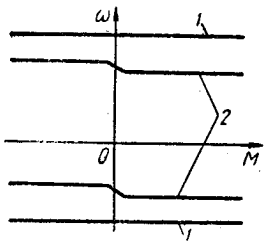


Рис. 3.26. Механические характеристики системы ТП—Д при линейном (1) и нелинейном (2) согласовании

Применяются несколько способов управления реверсивными комплектами тиристоров. При совместном управлении управляющие сигналы подаются на оба комплекта так, чтобы среднее значение э. д. с. инверторной группы не было меньше э. д. с. выпрямительной. Под действием разности мгновенных значений э. д. с. между двумя группами тиристоров протекают уравнительные токи. Для их ограничения служат уравнительные реакторы $УР1$ и $УР2$ (см. рис. 3.25, а) или $УР1, \dots, УР4$ (рис. 3.25, б).

Механические характеристики системы ТП—Д (рис. 3.26) подобны аналогичным характеристикам системы Г—Д: они линейны и обеспечивают плавный переход из выпрямительного режима в инверторный.

Следует заметить, что целесообразность применения на кранах системы ТП—Д в отдельных случаях представляется спорной. Дело в том, что надежность (время безотказной работы) тиристорных электроприводов постоянного тока пока на 50...70% ниже надежности системы Г—Д.

3.7. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ КРАНОВЫХ УСТАНОВОК

Крановые установки в большинстве своем являются устройствами, от надежности работы которых зависит нормальный ход производства. Поэтому в соответствии с ПУЭ электроприводы кранов относятся к категории потребителей не ниже второй, для которой перерыв в электроснабжении допускается только на время переключения питания с основной сети на резервную. Ряд кранов, таких как литейные, перегрузочные для операций со взрывоопасными, ядовитыми или радиоактивными грузами и некоторые другие, относятся к приемникам первой категории, которые должны обеспечиваться питанием от двух независимых источников; при этом перерыв в электроснабжении может быть допущен лишь на время автоматического ввода резервного питания.

Крановые электроприводы могут получать питание от трехфазных сетей переменного тока промышленного предприятия либо от специальных единых общезаводских сетей постоянного тока. Основным напряжением для питания крановых механизмов является напряжение 380 В переменного тока частотой 50 Гц и 220 В постоянного тока.

Электроснабжение крановых установок с электроприводом весьма разнообразно как в отношении источников питания, так и числа потребителей, питающихся от одной линии. Наименьшую мощность потребляют строительные краны, наибольшую — краны металлургического производства и тяжелого машиностроения. Мощность сетей для питания башенных кранов жилищного строительства не превышает 500 кВ·А, а сетей для питания кранов металлургического производства и перегрузателей может достигать 4000... 5000 кВ·А. Под мощностью питающих сетей здесь подразумевается установленная мощность трансформатора на линии, питающей кран.

Подвод электрической энергии к кранам от общей сети переменного тока или от преобразовательных установок постоянного тока выполняется различным образом в зависимости от типа и конструкции крановой установки. Поскольку механизмы крана перемещаются, для питания их электродвигателей и аппаратуры управления применяют специальные токоподводящие устройства. Так, на строительных (башенных) кранах для подвода энергии к электрическому оборудованию, расположенному на вращающейся конструкции крановой башни, используют кольцевые токоприемники (их конструкция рассмотрена в гл. 1). На опорной платформе располагают вращающиеся вместе с ней кольца токоприемника, к которым с внешней стороны прижимаются неподвижные токоподводящие щетки, соединенные с питающей сетью. Токосъемные кольца, в свою очередь, соединяют с электродвигателем и аппаратурой крана.

Остановимся более подробно на подводе электрической энергии к мостовым кранам. На рис. 3.27 изображена схема электро-

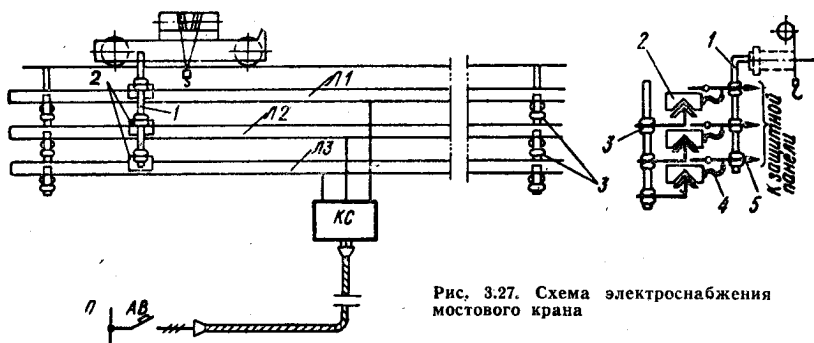


Рис. 3.27. Схема электроснабжения мостового крана

снабжения мостового крана с электроприводом переменного тока и использованием скользящего токоъемника. От сборной коробки *КС* напряжение подводится к главным контактным проводам — троллеям *Л1*, ..., *Л3*, которые обычно выполняют из стального уголка, швеллера или рельса. Контактные провода закрепляют на изоляторах *3* и устанавливают вдоль подкрановых путей. По ребру уголка скользит чугунный башмак *2*, шарнирно закрепленный на изолированной стойке токоъемника *1*. Под действием собственной массы башмак плотно прилегает к уголку, обеспечивая необходимый контакт. Надежный контакт между подвижным башмаком и зажимом *5*, от которого отходит соединительный провод к защитной панели, обеспечивается гибкой многожильной медной перемычкой *4*.

Расчет и выбор контактных (троллейных) проводов, питающих электродвигатели крановых установок, сводится к выбору площади сечения уголковой стали троллеев по допустимому току нагрузки с последующей проверкой на допустимую потерю напряжения. Длительно допустимый ток нагрузки для различных профилей уголковой стали указан в табл. 3.4.

Провод выбирается одинаковым по всей длине перемещения механизма. Точное определение расчетного тока, протекающего по контактным проводам, вызывает затруднения вследствие резких колебаний нагрузки двигателей крана. Существует несколько приближенных методов определения расчетного тока, основанных на опыте эксплуатации крановых установок. Один из таких методов сводится к определению расчетного тока через потребляемую из сети мощность *P* (кВт):

$$P = cP_3 + bP_c. \quad (3.1)$$

Здесь P_3 — установленная мощность трех наибольших в группе двигателей при $PВ=25\%$, кВт; P_c — суммарная мощ-

Таблица 3.4. Длительно допустимый ток нагрузки для различных профилей уголковой стали

Номер профиля	Размеры профиля, мм	Длительный ток, А
2,5	25×25×3	163
3	30×30×4	193
4	40×40×5	278
5	50×50×5	345
6	60×60×6	416
7,5	75×75×8	545

ность всех двигателей группы при $P_B = 25\%$, кВт; c, b — опытные коэффициенты (обычно $c = 0,3$; $b = 0,06 \dots 0,18$).

Расчетный ток I (А) для кранов, работающих соответственно на переменном и постоянном токе, определяют по формулам:

$$I = \frac{1000P}{\sqrt{3}U_{\text{ном}} \cos \varphi}; \quad (3.2)$$

$$I = \frac{1000P}{U_{\text{ном}}}, \quad (3.3)$$

где $U_{\text{ном}}$ — номинальное напряжение сети, В; $\cos \varphi$ — средний коэффициент мощности двигателей крана (принимают $\cos \varphi = 0,7$).

По полученному значению расчетного тока выбирают подходящие размеры уголкового стали, исходя из того, что $I \leq I_{\text{доп}}$. Наиболее ходовыми размерами контактных проводов из уголкового стали являются $50 \times 50 \times 5 \dots 75 \times 75 \times 8$ мм. Уголки с номером профиля менее 5 (вследствие их недостаточной жесткости) и более 7,5 (по причине увеличения массы) не применяются.

Расчет всей питающей сети крана следует производить так, чтобы при пусковых и рабочих токах потери напряжения в ней не превышали 8...12% исходя из условий сохранения достаточной перегрузочной способности двигателей переменного тока, нормальной работы тормозных магнитов и электрических аппаратов схемы управления. При этом потери в сети могут распределяться следующим образом: главные контактные провода — 3.4%; магистраль до них — 4...5%; сеть в пределах крана — 1...3%. Для установок с редкими пусками максимально допустимые потери напряжения не должны превышать 15%.

Пиковый (пусковой) ток нагрузки определяется в зависимости от числа кранов, питающихся от данной сети. Например, при одном кране пиковый ток (А)

$$I_{\text{п}} = mI'_{\text{ном}} + I''_{\text{ном}},$$

где $I'_{\text{ном}}$ — номинальный ток наибольшего двигателя крана; $I''_{\text{ном}}$ — номинальный ток второго по размерам двигателя; m — кратность пускового тока.

Потери напряжения ΔU (В) в питающей сети крана можно определить по упрощенной формуле

$$\Delta U = uI_{\text{п}}l. \quad (3.4)$$

Здесь u — удельная потеря напряжения в уголкового стали ($u = 0,07 \dots 0,2$ из табл. 3.5); l — расстояние от точки присоединения питающей линии до конца троллеев.

Если потери напряжения превышают допустимое значение, то увеличивают площадь сечения уголка или применяют подпитку проводов в одной либо нескольких точках дополнительных линиями (из специальных алюминиевых шин), которые укладывают на тех же крепежных конструкциях параллельно контакт-

ному проводу. Применение подпитывающих шин дает возможность уменьшить площадь сечения контактных проводов и снизить капитальные затраты.

Таблица 3.5. Характеристика питающей сети крана

Удельная потеря напряжения	Пиковый ток (А) при размерах уголка, мм			Удельная потеря напряжения	Пиковый ток (А) при размерах уголка, мм		
	50×50×5	60×60×6	75×75×8		50×50×5	60×60×6	75×75×8
0,07	97	111	140	0,14	214	259	334
0,08	110	130	168	0,15	232	280	362
0,09	125	150	194	0,16	250	300	390
0,10	140	171	222	0,17	277	334	427
0,11	158	193	250	0,18	304	368	472
0,12	177	215	278	0,19	331	402	520
0,13	195	237	306	0,20	358	436	562

В справочных таблицах допустимая нагрузка стальных проводов на переменном токе дается обычно для продолжительного режима работы (ПВ=100%). При меньших значениях ПВ нагрузка может быть увеличена, например при ПВ=40% в 1,5 раза. На постоянном токе нагрузка стальных троллеев может быть увеличена в 1,5..2 раза по сравнению с допустимой нагрузкой на переменном токе.

Сети, питающие краны, как правило, защищены от коротких замыканий, но не защищены от перегрузок. Поэтому при выборе автоматов и плавких вставок предохранителей желательно, чтобы их номинальные токи были минимальными. В соответствии с ПУЭ номинальный ток плавкой вставкой не должен превышать трехкратного значения длительно допустимого тока нагрузки на провода; ток срабатывания автомата, имеющего мгновенный расцепитель, не должен превышать длительно допустимый ток нагрузки на провода более чем в 4,5 раза, а автоматов других конструкций — в 1,5 раза.

Глава 4 ЭЛЕКТРОПРИВОД ЭКСКАВАТОРОВ

4.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОДНОКОВШОВЫХ ЭКСКАВАТОРАХ

Одноковшовым экскаватором называется самоходная выемочно-погрузочная машина, используемая в строительстве при производстве земляных работ на гидротехнических сооружениях и добыче полезных ископаемых при открытой разработке месторождений. В строительстве такие экскаваторы широко применяются при сооружении городов, фабрик и заводов, на горнорудных разработках они используются в угольных и рудных карьерах. Копание грунтов (горных пород) осуществляется движением рабочего органа (ковша). Перемещение экскаватора вдоль фронта работы производится посредством гусеничного хода или же специального шагающего механизма.

По производительности одноковшовые экскаваторы могут быть разделены на три основных класса: *малой производительности* с емкостью ковша 0,5...2 м³, *средней* — с емкостью ковша 2...10 м³ и *большой производительности* — с емкостью ковша более 10 м³. По характеру рабочего оборудования различают экскаватор-лопату, у которого ковш имеет жесткое сочленение со стрелой (рис. 4.1), и экскаватор-драглайн, у которого ковш подвешен на канатах (рис. 4.2).

По ходовому оборудованию одноковшовые экскаваторы делятся на *гусеничные* (обозначаются буквой Г) и *шагающие* (обозначаются буквой Ш). На разработках тяжелых грунтов и скальных пород применяются экскаваторы-лопаты, а мягких грунтов — экскаваторы-драглайны. Первые, предназначенные для работы совместно с транспортными средствами, производят выемку грунта или полезного ископаемого и погрузку его в железнодорожные вагоны и автомашины или же на конвейеры. Вторые обычно работают на легких грунтах без вспомогательных транспортных средств, переваливая породу в отвалы. Они имеют для этого удлиненные стрелы.

На рис. 4.3 показано расположение электрооборудования на поворотной платформе экскаватора типа ЭКГ-4.6. Поворотная платформа состоит из основной рамы 2, к которой по бокам крепятся две площадки 1, а сзади — корпус противовеса 10. В передней части платформы находятся двигатели поворота 3, в средней части расположена подъемная лебедка 4 с двигателем 7, в задней части установлен пятимашинный агрегат 11, состоящий из приводного (сетового) двигателя, генераторов подъема, поворота и напора, а также возбуждителя. Между двигателями подъема и поворота размещен компрессор 8. В левой части платформы установлены понижающий трансформатор собственных нужд 9

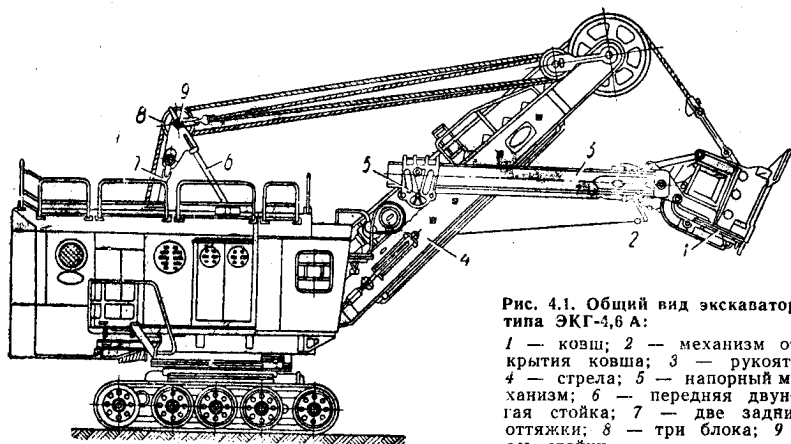


Рис. 4.1. Общий вид экскаватора типа ЭКГ-4,6 А:

1 — ковш; 2 — механизм открытия ковша; 3 — рукоять; 4 — стрела; 5 — напорный механизм; 6 — передняя двуполая стойка; 7 — две задних оттяжки; 8 — три блока; 9 — ось стойки

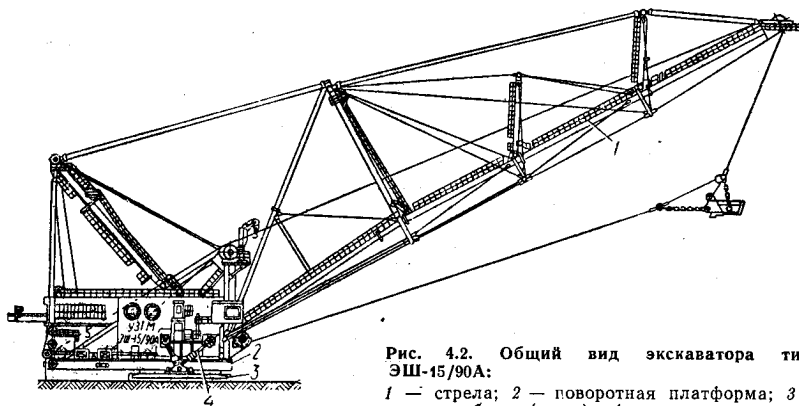


Рис. 4.2. Общий вид экскаватора типа ЭШ-15/90А:

1 — стрела; 2 — поворотная платформа; 3 — опорная база (рама); 4 — механизм шага с башмаками

и распределительное устройство высокого напряжения 6. В передней части платформы находится кабина машиниста 5 с ручным и ножным контроллерами для управления приводами экскаватора.

Основными видами одноковшовых экскаваторов являются карьерные гусеничные экскаваторы с емкостью ковша базовых моделей 2...20 м³ (например, ЭКГ-8), вскрышные лопаты с емкостью ковша 15...100 м³ (например, ЭВГ-35/65) и шагающие драглайны с емкостью ковша 4...125 м³ (например, ЭШ-25/100). Один из наиболее распространенных экскаваторов (экскаватор-лопата типа ЭКГ-4,6) имеет емкость ковша 4,6 м³ и выпускается в нескольких модификациях.

Электрооборудование экскаваторов различных типов существенно разное. На экскаваторе типа ЭКГ-4,6 (рис. 4.4) от вводной коробки электроэнергия через кольцевой токоприемник КТ под-

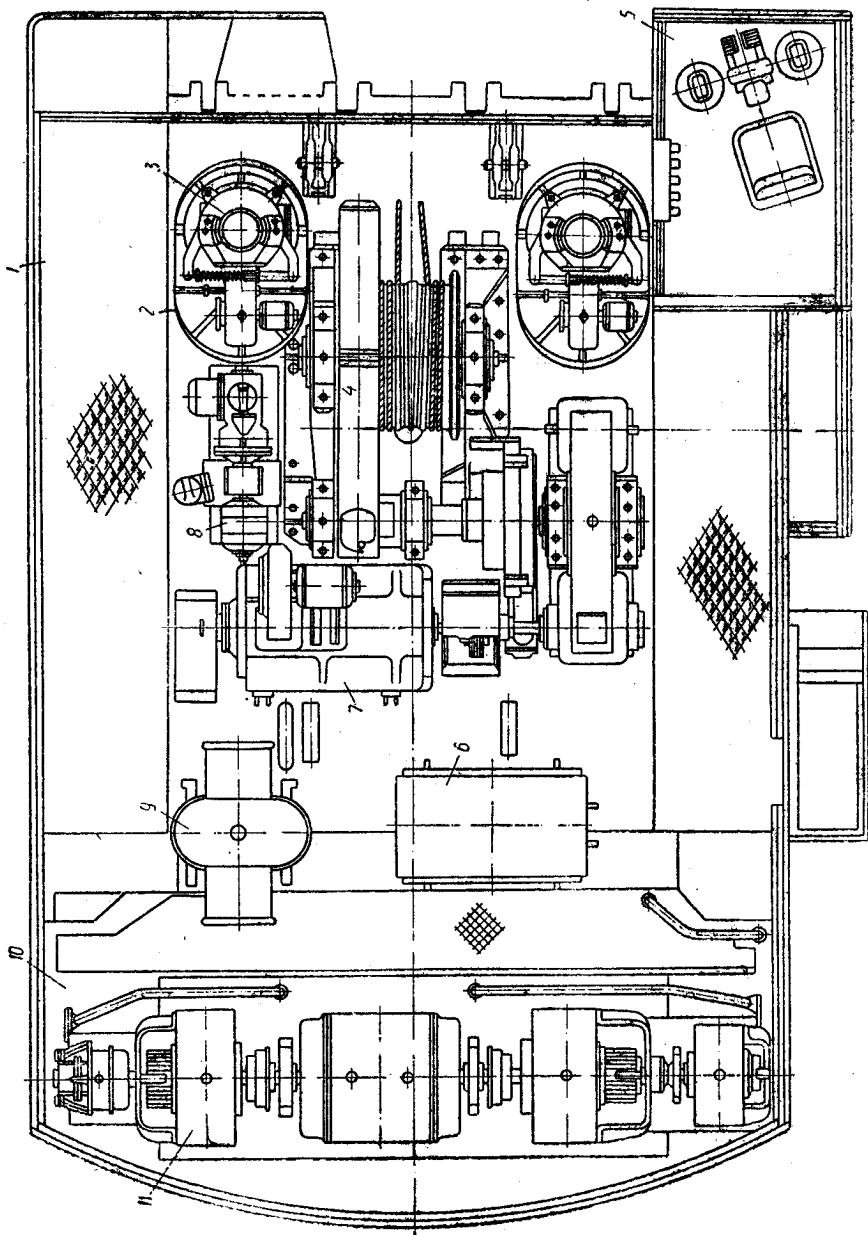


Рис. 4.3. Расположение электрооборудования на поворотной платформе экскаватора типа ЭКГ-46

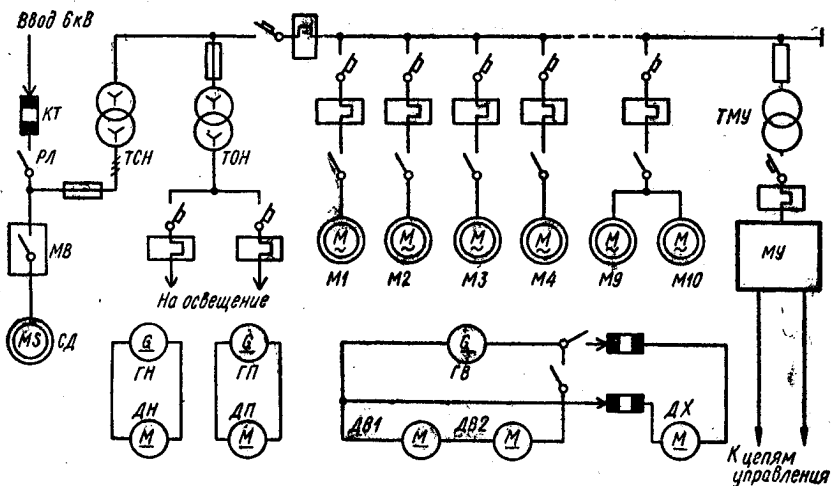


Рис. 4.4. Принципиальная схема распределения электроэнергии на экскаваторе типа ЭКГ-4,6

водится к линейному разъединителю *РЛ*, установленному в распределительном устройстве поворотной платформы, откуда поступает к сетевому двигателю *СД* (через масляный выключатель *МВ*) и к трансформатору собственных нужд *ТОН*. От последнего питаются: трансформатор осветительной нагрузки *ТОН*, мелкие двигатели вспомогательных механизмов (вентиляторов, насосов, компрессоров и т. д.) *М1, М2... М10*, а также магнитный усилитель *МУ* (через трансформатор *ТМУ*), питающий цепи управления главных приводов механизмов экскаватора.

Сетевой двигатель приводит во вращение генераторы постоянного тока (*ГН, ГП, ГВ*), которые питают приводные двигатели рабочих механизмов экскаватора, а именно: двигатели подъема (*ДП*), напора (*ДН*), поворота (*ДВ1, ДВ2*) и хода (*ДХ*). Количество приводных двигателей одного и того же механизма или агрегата может быть разным (один, два, четыре).

4.2. НАГРУЗОЧНЫЕ ДИАГРАММЫ ЭКСКАВАТОРА И ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ЕГО ЭЛЕКТРОПРИВОДАМ

На рис. 4.5 изображены кинематические схемы электроприводов рабочих механизмов одноковшового экскаватора типа ЭКГ-8.

Рабочий цикл экскаватора состоит из следующих основных процессов: копания, подъема ковша и его одновременного поворота на выгрузку, опорожнения ковша, поворота к месту копания и одновременного опускания ковша в забой. Полный цикл выемки (копания) и разгрузки ковша осуществляется тремя рабочими

механизмами: подъемным, напорным и поворотным у экскаватора, оборудованного механической лопатой, или тяги, подъемным и поворотным у драглайна.

На рис. 4.6 показаны расчетные нагрузочные диаграммы электроприводов рабочих механизмов экскаватора с механической лопатой. Продолжительность отдельных процессов цикла обозначена на рисунке буквами: t_1, t_8 — копание; t_2 — подъем груженого ковша и удержание его при повороте на выгрузку; t_3 — разгрузка; t_4 — удержание порожнего ковша во время его поворота с последующим торможением; t_6 — разгон, движение с установившейся скоростью и торможение груженого ковша; t_7 — то же, но порожнего ковша; t_9 — возврат рукояти с груже-

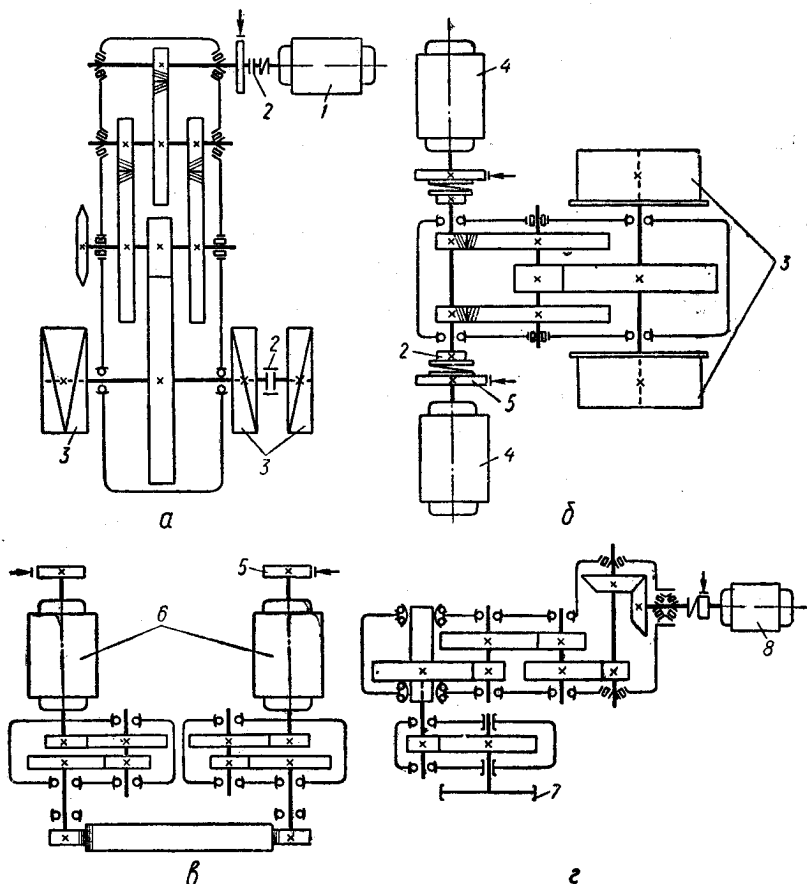


Рис. 4.5. Кинематические схемы электроприводов напорного (а), подъемного (б), поворотного (в) и ходового (г) механизмов типа ЭКГ-8:

1 — двигатель напорного механизма; 2 — муфта ограничения момента; 3 — барабан; 4 — двигатели подъемной лебедки; 5 — тормоз; 6 — двигатели поворота; 7 — ведущее колесо; 8 — двигатель хода

ным ковшом; t_{10} — выдвигание рукояти с груженым ковшом при повороте на разгрузку; t_{11} — втягивание рукояти при подаче по-
рожного ковша в забой.

Нагрузочная диаграмма сетевого двигателя (рис. 4.6, *г*) является суммарной по отношению к двигателям механизмов и носит переменный характер. Наибольшая мощность расходуется во время копания.

Режим работы электроприводов основных механизмов одноковшового экскаватора характеризуется их частыми пусками и реверсами, быстрыми разгонами и остановками, резкими толчками и пиками нагрузки. Число включений двигателя подъемной лебедки доходит до 200...300 в час, а двигателей напора и поворота — до 600...700. Пики нагрузки двигателей часто в 2...3 раза превышают средние нагрузки и повторяются несколько раз в течение рабочего цикла.

Характерной особенностью работы электроприводов копающих механизмов является возможность стопорения рабочего органа при встрече его с непреодолимым препятствием в процессе копания; поэтому требуется автоматическое ограничение момента, развиваемого электроприводом. Это требование выполняется с помощью специальной формы механической характеристики электропривода.

С другой стороны, для сохранения нормальной производительности экскаватора механическая характеристика двигателя $n = f(M)$ в пределах его нормальной работы должна быть довольно жесткой. Только при моменте, близком к максимально допустимому, должно происходить резкое падение частоты вращения n вплоть до остановки двигателя. Этот момент получил название *стопорного*. При незначительном уменьшении нагрузки на ковш двигатель должен автоматически разогнаться. Механическая характеристика подобного вида, называемая *экскаваторной*, изображена на рис. 4.7.

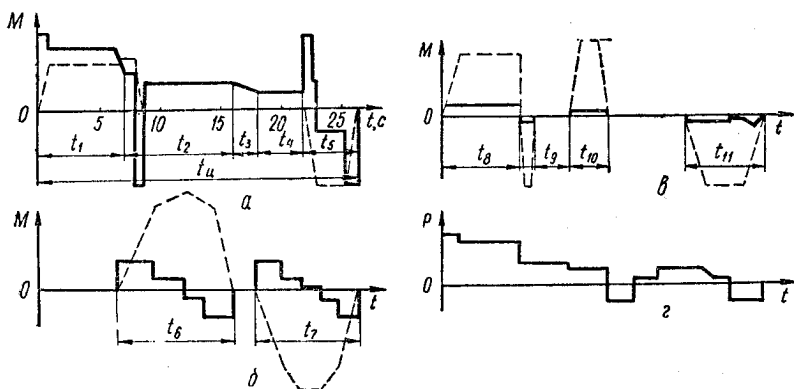


Рис. 4.6. Расчетные нагрузочные диаграммы электроприводов подъемного (*а*), поворотного (*б*), напорного (*в*) механизмов и сетевого двигателя (*г*) одноковшового экскаватора

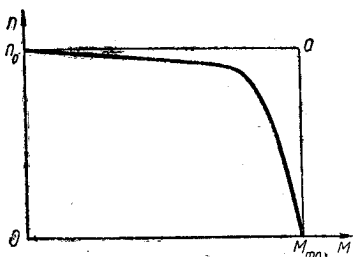


Рис. 4.7. Экскаваторная характеристика электропривода

Качество экскаваторной характеристики определяется коэффициентом заполнения, который представляет собой отношение площади фигуры, образованной кривой $n=f(M)$ и осями координат, к площади прямоугольника On_0M_{max} . Чем ближе этот коэффициент к единице, тем большую производительность экскаватора может обеспечить электропривод. Однако при проектировании и наладке приводов

всех копающих механизмов (подъема и напора лопат, тяги драглайнов) коэффициент заполнения выбирается относительно невысоким (в пределах 0,7 ... 0,8). Чем более тяжелыми являются условия ограничения момента при стопорениях, тем меньше требуется заполнение экскаваторной характеристики.

Сказанное объясняется особенностями работы экскаватора при копании: машинист должен видеть по снижению скорости привода увеличение нагрузки механизма и во время предотвращать его возможное стопорение. При высоком заполнении характеристики переход к быстрому снижению скорости даже при перегрузках в нормальных режимах копания является для машиниста неожиданным, и вероятность стопорений увеличивается. Слишком частые стопорения увеличивают продолжительность копания, снижают производительность экскаватора и повышают нагрев электрических машин.

Кроме общих требований (относительно мощности, конструкции, коммутации, перегрузочных свойств и т. д.), к электроприводу экскаватора предъявляются также следующие требования:

1. Наибольшее приближение механической характеристики двигателей к экскаваторной форме.
 2. Максимальный маховый момент якоря электродвигателей для получения минимальных динамических усилий при быстрых изменениях скорости.
 3. Минимальные расхождения статических и динамических характеристик двигателей в динамических режимах работы.
 4. Возможность применения электрического торможения.
 5. Гибкость, надежность и легкость управления главными приводами при их простой конструкции.
 6. Регулирование частоты вращения двигателя в широких пределах.
 7. Наименьшие потери энергии на всех скоростях электропривода.
 8. Надежность работы электрической аппаратуры управления.
 9. Возможность автоматического управления главными приводами и автоматического их регулирования.
 10. Простота системы электропривода.
- Двигатели, устанавливаемые на экскаваторах, должны быть

предназначены для повторно-кратковременного режима работы, т. е. для работы с частым чередованием периодов включения и выключения. Обычные крановые двигатели серий КПД, МП, ДП и МП, рассчитанные на работу в таких режимах, имеют слишком малую нормированную ПВ (15, 25 и 40%). В условиях работы одноковшовых экскаваторов ПВ двигателей бывает намного выше (50...80%), в связи с чем для экскаваторов и изготавливают двигатели специальных экскаваторных серий (КПДЭ, ДПЭ и др.), отличающиеся особенно высокой электрической и механической прочностью.

4.3. СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Для копающих механизмов одноковшовых экскаваторов пригодны следующие виды электропривода: асинхронный привод; система «генератор — двигатель с трехобмоточным генератором» (Г—Д); система «генератор — двигатель с силовым МУ» (Г—Д с МУ); система «генератор — двигатель с электромашинным усилителем» (Г—Д с ЭМУ); система «генератор — двигатель с силовым и промежуточным МУ» (Г—Д с МУ и ПМУ); система «генератор — двигатель с тиристорным возбудителем» (Г—Д с ТВ), а также система «регулируемый тиристорный преобразователь — двигатель» (ТП—Д).

Ниже рассматриваются наиболее распространенные в настоящее время из названных систем.

Система «генератор — двигатель с силовым МУ»*. В этой системе электропривода (рис. 4.8) независимая обмотка возбуждения генератора (ОВГН) получает питание от двухтактного силового МУ. Управление приводом сосредоточено в цепи задающей обмотки (ОЗ) МУ. Генератор имеет также и параллельную обмотку ОВГШ, м. д. с. которой $F_{овш}$ действует согласно с м. д. с. независимой обмотки $F_{овн}$. Таким образом, в системе осуще-

* Силовой МУ в этой системе называется также суммирующим усилителем.

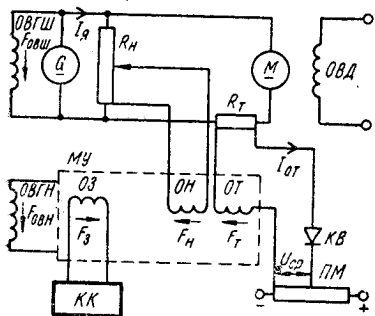


Рис. 4.8. Принципиальная схема системы электропривода Г—Д с МУ

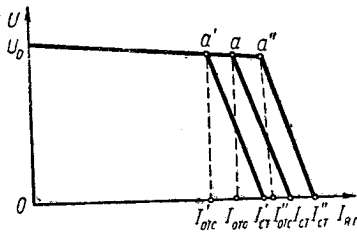


Рис. 4.9. Внешняя характеристика генератора системы электропривода Г—Д с МУ

ствлена положительная о. с.* по напряжению генератора, за счет чего уменьшаются м. д. с. и ток возбуждения обмотки *ОВГН*, а следовательно, и мощность силового *МУ*.

В системе имеется также отрицательная о. с. по напряжению генератора, которая создается обмоткой *ОН МУ*. Эта о. с. обеспечивает форсирование электромагнитных переходных процессов в электроприводе.

Результирующая м. д. с. *МУ* равна разности м. д. с. $F_a - F_n$. Следовательно, чем меньше F_n , тем больше результирующая м. д. с. и тем выше напряжение на выходе *МУ*, что в свою очередь вызывает увеличение темпа изменения м. д. с. $F_{овн}$ обмотки *ОВГН*, а значит, и сокращение времени переходных процессов в электроприводе. За счет отрицательной о. с. по напряжению генератора повышается также жесткость внешней характеристики генератора и механической характеристики привода.

Для получения экскаваторной характеристики привода в системе *Г—Д с МУ* имеется отрицательная о. с. по току якорной цепи с отсечкой. Узел этой о. с. состоит из обмотки управления (*ОТ*) *МУ*, потенциометра *ПМ*, источника напряжения сравнения U_{cp} и резистора R_T в цепи якорей генератора и двигателя. Нелинейный характер о. с. по току обеспечивается за счет полупроводникового диода *КВ*. Такая схема отсечки иногда называется *потенциометрической токовой*.

Действие данной о. с. сводится к следующему. Напряжение U_R , представляющее собой падение напряжения на резисторе R_T при протекании тока якоря I_a , т. е. $U_R = I_a R_T$, приложено встречно напряжению сравнения U_{cp} . Таким образом, ток в цепи обмотки *ОТ* определяется разностью этих двух напряжений $\Delta U = U_R - U_{cp}$. Но так как в цепи обмотки *ОТ* имеется диод *КВ*, то ток в ней может протекать только в направлении U_R . Когда $U_R < U_{cp}$, ток в цепи обмотки *ОТ* не протекает и о. с. по току не действует. При $U_R > U_{cp}$ под действием напряжения ΔU по обмотке *ОТ* ток протекает и создает м. д. с. F_T , направленную встречно м. д. с. задающей обмотки F_a . М. д. с. F_T размагничивает *МУ*, напряжение на выходе его резко падает, что в свою очередь приводит к уменьшению м. д. с. $F_{овн}$ и напряжения генератора почти до нуля. В реверсивных электроприводах используют схемы включения диодов, обеспечивающие работу обмотки *ОТ* при любом направлении тока якоря I_a .

На рис. 4.9 показана внешняя характеристика генератора рассматриваемой системы электропривода. На участке характеристики U_{0a} отрицательная о. с. по току не действует, так как $U_R = I_{a,r} R_T < U_{cp}$. В точке *a*, где $I_{a,r} = I_{отс}$, о. с. вступает в действие; при этом $U_R = I_{отс} R_T > U_{cp}$. При стопорном токе $I_{ст}$ напряже-

* *Обратной связью* называется воздействие выходной величины некоторой системы на вход этой же системы. Если действие о. с. направлено на уменьшение отклонения системы от первоначального состояния, то она называется *отрицательной*, в противном случае говорят о *положительной* о. с. В зависимости от характера связи различают *статическую (жесткую)* и *динамическую (гибкую)* о. с.

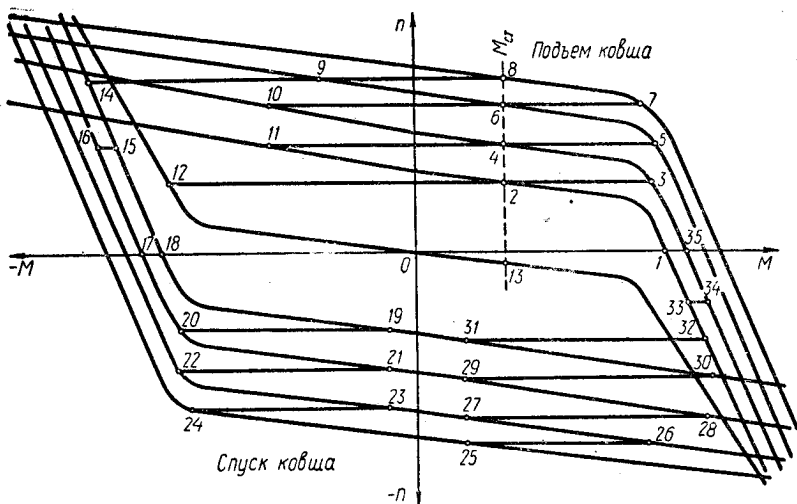


Рис. 4.10. Механические характеристики системы электропривода Г—Д с МУ

ние генератора становится равным падению напряжения в главной цепи схемы: $\Delta U_{ст} = I_{ст}(R_{я.г} + R_{я.д})$. Поскольку сопротивление резистора R_r , к которому подключена обмотка OT , не изменяется, напряжение U_R зависит только от тока якоря $I_{я.г}$.

Ток отсечки $I_{отс}$ и стопорный ток $I_{ст}$ зависят от напряжения сравнения $U_{ср}$. Уменьшение последнего вызывает снижение токов $I_{отс}$ и $I_{ст}$ (точки a' и $I'_{ст}$), и наоборот, с увеличением $U_{ср}$ токи $I_{отс}$ и $I_{ст}$ возрастают (точки a'' и $I''_{ст}$). Таким образом, в системе электропривода Г—Д с МУ довольно просто можно регулировать при наладке стопорный ток.

Система электропривода Г—Д с МУ, помимо перечисленных жестких о. с., имеет также гибкие отрицательные о. с., которые формируют динамические характеристики и обеспечивают устойчивость системы регулирования в переходных режимах.

Пуск в ход приводного двигателя при постоянном статическом моменте $M_{ст}$ нагрузки выполняется путем увеличения тока в задающей обмотке МУ, вследствие чего напряжение на зажимах генератора и двигателя также повышается от нуля до номинального значения. При этом до тех пор, пока двигатель не начал вращаться, ток в цепи его якоря возрастает от нуля до такого значения, при котором момент вращения двигателя оказывается достаточным для преодоления момента сопротивления рабочего механизма. Полная диаграмма пуска в ход двигателя изображена на рис. 4.10 в виде ломаной линии 0—1—2—3—4—5—6—7—8. В процессе черпания двигатель работает на естественной характеристике (условно в точке 8).

Для того чтобы регулировать частоту вращения двигателя, достаточно переводить его с одной механической характеристики

на другую, как это показано на рис. 4.10 (ломаные линии 8—9—6—10—4 и т. д.). При этом в части переходного процесса двигатель будет работать в режиме рекуперативного торможения.

Если во время работы экскаватора необходимо удерживать ковш в поднятом (равновесном) положении, следует перевести двигатель на механическую характеристику, соответствующую нулевому положению командоконтроллера КК (допустим, из точки 2 в точку 12). При этом двигатель будет работать в режиме динамического торможения и снизит скорость подъема ковша до нуля (точка 0). Далее двигатель начнет работать на участке 0—13 (спуск ковша), где точка 13 будет соответствовать равновесному положению, в котором момент двигателя будет равен моменту $M_{ст}$, создаваемому массой ковша. При этом в данной точке частота вращения двигателя будет весьма небольшой (ползучая частота), благодаря чему возможно относительно длительное удерживание ковша в поднятом положении.

Следует отметить, что из-за смены полярности на зажимах двигателя обмотка напряжения МУ начинает подмагничивать генератор, как ранее это делала задающая обмотка, в направлении, соответствующем подъему ковша, а токовая обмотка, благодаря наличию отсечки, не работает, т. е. не оказывает противодействия обмотке напряжения. В результате э. д. с. генератора, определяемая действием обмотки напряжения, начнет действовать согласно с э. д. с. двигателя, возникающей при его вращении под действием массы ковша. В итоге обе машины будут работать как последовательно включенные на сопротивление цепи якорей. Создаваемый тормозной момент при этом будет достаточен для удержания ковша при некоторой (очень небольшой) частоте вращения двигателя в направлении тормозного спуска.

Если требуется создать большой тормозной момент с использованием режима противовключения, то двигатель, работающий, например, в точке 8, быстро переводят на одну из механических характеристик противовключения (ломаная 8—14—15—16—17). В этом случае тормозной момент остается на время большим и двигатель быстро снижает частоту вращения до нуля (точка 17).

Аналогично изложенному происходят разгон и торможение двигателя при спуске ковша. Разгону соответствует ломаная линия 0—18—19—20—21—22—23—24. Далее двигатель автоматически переходит из двигательного режима работы в генераторный (точка 25). Для снижения частоты вращения двигателя осуществляют переход на другие механические характеристики (25—26—27 и т. д.) и, в случае необходимости, применяя торможение противовключением (31—32—33—34—35). Следует указать, что для увеличения скорости опускания ковша часто используют ослабление поля возбуждения двигателя.

Отметим здесь, что разбор пусковых и тормозных процессов в электроприводе был проведен без учета влияния индуктивности цепи возбуждения генератора.

Достоинствами системы электропривода Г—Д с МУ являются: высокий коэффициент заполнения механической характеристики, который достигает 90...95%; малый ток в цепи управления задающей обмотки МУ; большое быстродействие, уменьшающее длительность переходных процессов (разгона, реверса и торможения); возможность использования бесконтактного командоконтроллера в цепи задающей обмотки и получения большой плавности управления приводом; высокая надежность работы. Система Г—Д с МУ широко применяется на современных экскаваторах средней мощности типов ЭКГ-4,6, ЭКГ-8, ЭШ-10/70 и др.

Система «генератор-двигатель с силовым и промежуточным МУ» является разновидностью системы Г—Д с МУ и в сравнении с последней имеет больший общий коэффициент усиления и меньшую электромагнитную инерционность. Применяется она на мощных экскаваторах типа ЭШ-15/90 и др.

Система «генератор — двигатель с тиристорным возбудителем». Применение тиристорov в электроприводе экскаватора возможно для двух целей: а) для питания обмоток возбуждения генераторов преобразовательных агрегатов (взамен МУ); б) непосредственно для питания якорей двигателей рабочих механизмов.

В настоящее время система электропривода Г—Д с ТВ начинает использоваться в экскаваторах типов ЭКГ-4,6, ЭКГ-8 и др. Применение тиристорных возбудителей в электроприводах мощных экскаваторов позволяет повысить устойчивость, форсирование по напряжению генераторов и крутизну токовой отсечки и, таким образом, существенно улучшить статические и динамические характеристики электроприводов.

На рис. 4.11 показана упрощенная принципиальная схема системы электропривода Г—Д с ТВ, используемая при модернизации электропривода экскаватора типа ЭКГ-8. В ней тиристорный возбудитель *ТВ* собран по трехфазной мостовой схеме с встречно-параллельным включением тиристорov *T* и уравнительными реакторами *УР*. Защита тиристорov от недопустимых токов в аварийных режимах осуществляется автоматическим выключателем *АВ* с электромагнитными расцепителями. Внутренние коммутационные перенапряжения снимаются цепочками-фильтрами, состоящими из резистора R_{ϕ} и конденсатора C_{ϕ} , а внешние перенапряжения — фильтрами *РС* и выпрямителями *Вп*, работающими в качестве разрядников.

Параллельно независимой обмотке возбуждения генератора *ОВГ* включены встречно-направленные диоды *Д* и разрядный резистор R_p . В схеме имеются о. с. по току с отсечкой *1* и непрерывная о. с. по напряжению *2*, а также суммирующий МУ (СМУ) с обмотками *ОЗ*, *ОТ*, *ОН* и система импульсно-фазового управления (СИФУ) тиристорными блоками (*Н* и *В*). Требуемые статические характеристики и необходимое быстродействие обеспечиваются совместной настройкой обеих о. с. В качестве задающего элемента в схеме используется сельсинный командоаппарат *СКА*.

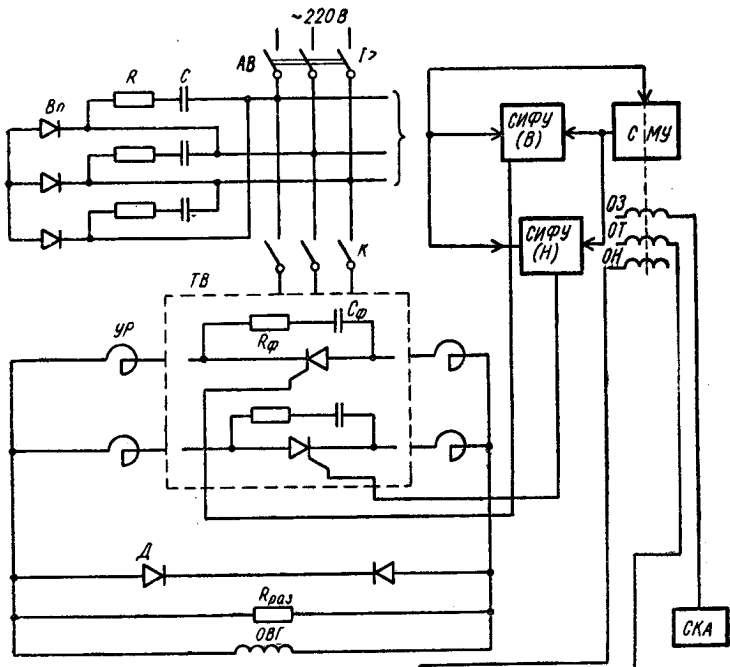


Рис. 4.11. Упрощенная принципиальная схема электропривода Г—Д с ТВ

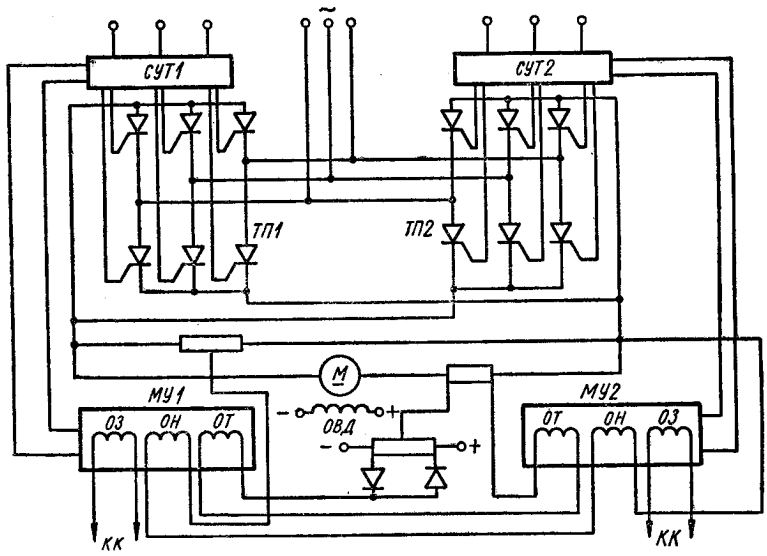
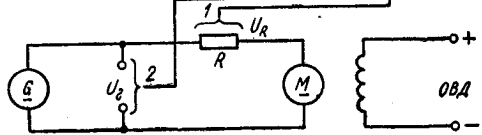


Рис. 4.12. Принципиальная схема системы электропривода ТП—Д

Система «тиристорный преобразователь — двигатель». Что касается применения тиристорных преобразователей для непосредственного питания якорей приводных двигателей (система ТП—Д), то в этом направлении ведутся соответствующие работы. На рис. 4.12 изображена принципиальная схема системы электропривода ТП—Д. Приводной двигатель *M* здесь питается от тиристорного преобразователя, собранного из двух групп управляемых вентилей, каждая из которых соединена по мостовой схеме и имеет отдельное управление.

Для формирования экскаваторных характеристик в данной системе используется обычный принцип суммирования сигналов управления: задающего, отрицательной о. с. по напряжению преобразователя и отрицательной о. с. по току с отсечкой. Суммирование осуществляется в *МУ1* и *МУ2*, с выходных обмоток которых сигнал подводится к системам управления тиристорами *СУТ1* и *СУТ2*.

В настоящее время разрабатываются тиристорные электроприводы главных механизмов экскаваторов типов ЭКГ-3,2 и ЭКГ-5, которые позволяют устранить влияние маховых масс и максимально сблизить статические и динамические характеристики привода.

Несмотря на несомненные достоинства системы ТП—Д, она пока применяется лишь на экскаваторах с ковшами емкостью до 5 м³, где мощность наибольших электродвигателей не превышает 250 кВт. Следует указать, что сети напряжением 380 В, которые питают трансформаторы тиристорных преобразователей, обладают большими реактивными сопротивлениями и это затрудняет получение устойчивого режима работы преобразователей. Поэтому при переводе на тиристорный электропривод самых массовых экскаваторов, например типа ЭКГ-4,6, с высокой концентрацией их на одном карьере (до 40...50 шт.), возможно сильное искажение питающего напряжения 6 кВ и нарушение вследствие этого нормальной работы экскаваторов.

4.4. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ЭКСКАВАТОРА ТИПА ЭКГ-4,6

Одноковшовый экскаватор типа ЭКГ-4,6 является самой распространенной машиной, используемой на открытых горных разработках. Электропривод его главных механизмов подъема, поворота, напора и хода выполнен на постоянном токе по системе Г—Д с питанием обмоток возбуждения генераторов от силовых МУ. На примере привода механизма подъема рассмотрим работу отдельных узлов схемы управления электроприводом (рис. 4.13).

Генератор привода имеет две обмотки возбуждения: независимую *ГП(ОВН)*, выполненную в виде двух полуобмоток, расположенных на одноименных полюсах генератора, и параллельную *ГП(ОВШ)*. Управление напряжением генератора осуществ-

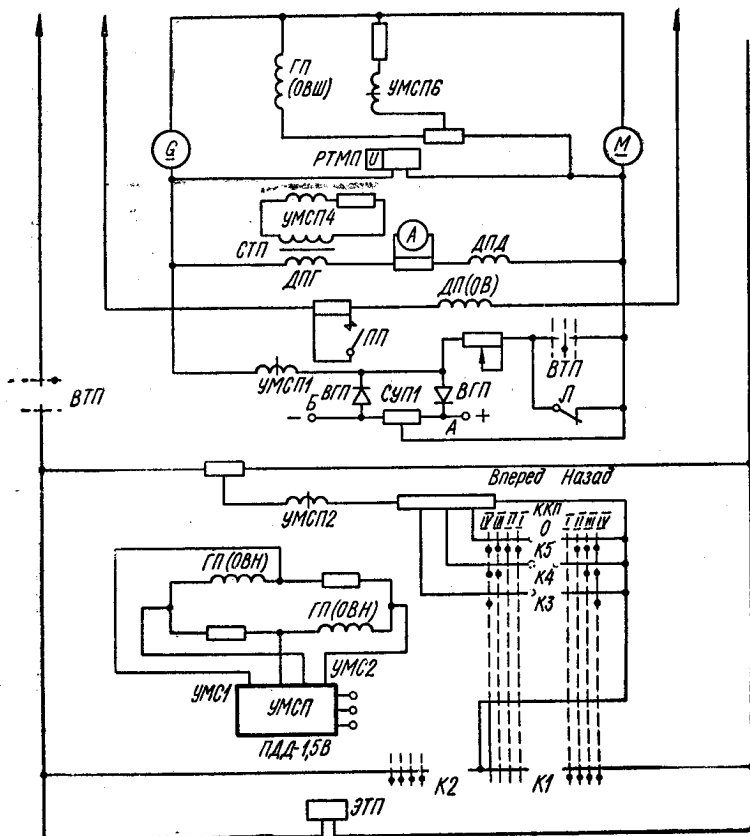


Рис. 4.13. Схема управления электроприводом механизма подъема одноковшового экскаватора типа ЭКГ-4,6

ляется с помощью двух силовых одноконтурных МУ (УМС1 и УМС2), объединенных в двухконтурный блок ПДД-1,5 В.

Устойчивая работа электропривода и получение экскаваторной характеристики двигателя обеспечиваются совместным действием четырех обмоток управления МУ (УМСП-1, 2, 4, и 6). На схеме не показаны обмотка смещения УМСП3 и дополнительная стабилизирующая обмотка УМСП5, которая используется не всегда.

Пуск, регулирование частоты вращения, выбор направления вращения и электрическое торможение двигателя привода производятся изменением силы и направления тока в задающей обмотке управления УМСП2 с помощью командоконтроллера ККП.

Обмотка УМСП6 жесткой отрицательной о. с. по напряжению генератора предназначена для увеличения быстродействия системы управления, уменьшения остаточного напряжения на генера-

торе и обеспечения питания привода при установке рычага командоконтроллера в нулевое положение.

Обмотка *УМСП1* жесткой отрицательной о. с. по току якорной цепи служит для ограничения стопорного тока в главной цепи до значения $2,4 \dots 2,7 I_{ном}$, получения жесткой механической характеристики и уменьшения остаточного тока якорной цепи при наложении механических тормозов. Для этого обмотка *УМСП1* включена последовательно с германиевыми выпрямителями *ВГП* и потенциометром *СУП1*. Протекающий через потенциометр ток постоянного значения создает на *СУП1* запирающий потенциал. Ток в обмотке *УМСП1* появляется лишь тогда, когда падение напряжения в главной цепи между точками подключения этой обмотки становится больше установленного запирающего потенциала. Пока ток в главной цепи мал, отсечка не работает и размагничивающее действие о. с. по току отсутствует. Когда же ток в главной цепи достигает установленного значения, отсечка начинает действовать, генератор размагничивается и достигается ограничение момента. Для устранения больших толчков тока в случае обрыва обмотки *УМСП1* предусмотрено реле максимального тока *РТМП*, которое срабатывает, если ток нагрузки в 1,25 раза превышает стопорный. При этом размыкается контакт *РТМП* в цепи катушки линейного контактора *Л* (на схеме не показан), т. е. отключается вся цепь управления.

Стабилизирующая обмотка *МУ* по току главной цепи (*УМСП4*) представляет собой гибкую отрицательную о. с. по току. Она затягивает процесс нарастания и спадания тока в главной цепи, что обеспечивает более плавный пуск и торможение двигателя, увеличивая устойчивость системы во время переходных процессов.

При работе экскаватора достаточно эффективным является электрическое торможение (динамическое, противовключением и рекуперативное). Механический тормоз, управляемый электропневматическим клапаном *ЭТП*, накладывается при перерывах в работе экскаватора, когда катушка *ЭТП* обесточивается (при обесточивании катушки *Л* или при отключении командоконтроллера *ККП*).

4.5. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ШАГАЮЩИХ ДРАГЛАЙНОВ

Среди драглайнов наиболее распространенным является экскаватор типа ЭШ-15/90А. Для питания двигателей его основных механизмов используются генераторы с тремя обмотками возбуждения, расположенными на главных полюсах: независимого и параллельного возбуждения и противокомпаундной обмоткой *ПКОГ*, которая включается параллельно компенсационной обмотке и обмотке дополнительных полюсов генератора и осуществляет непрерывную отрицательную о. с. по току (рис. 4.14).

Обмотка независимого возбуждения генератора *ОВГ* разделена на две одинаковые полуобмотки. Питается она по мостовой

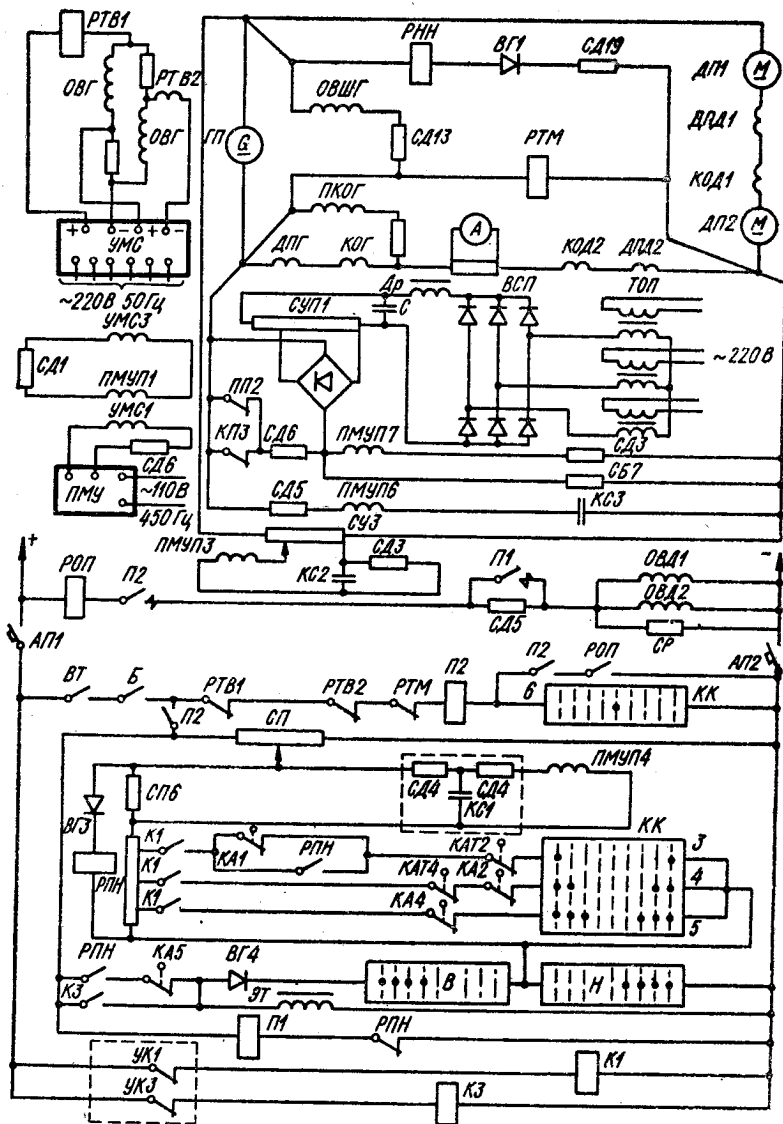


Рис. 4.14. Принципиальная схема электропривода подъемного механизма экскаватора типа ЭШ-15/90А

схеме с помощью силового магнитного усилителя УМС. Все о. с. воздействуют не на вход УМС, а на вход промежуточного магнитного усилителя ПМУ. Для уменьшения инерции последний питается напряжением 110 В повышенной частоты (450 Гц).

Назначение и структура цепей о. с. в данной схеме подобны ранее рассмотренным схемам. Поэтому остановимся лишь на важнейших особенностях схемы управления приводом подъема, основными узлами которой являются узел отрицательной о. с. по току главной цепи с потенциометрической отсечкой (обмотка ПМУП7), узел жесткой отрицательной о. с. по напряжению (обмотка ПМУП3) и узел задающей обмотки ПМУП4. Для стабилизации параметров электропривода при изменении температуры электрических машин, а также для разделения якорных цепей главных генераторов в узле токовой отсечки предусмотрено питание токового потенциометра сравнения от отдельного источника, напряжение которого меняется в зависимости от изменения температуры обмоток главных машин. В качестве источника регулируемого напряжения используется трехфазный магнитный усилитель МУТ (на схеме не показан), включенный через стабилизаторы напряжения. Потенциометр сравнения СУП1 подключен к МУТ через выпрямитель ВСП и трансформатор ТОП. Для уменьшения пульсаций напряжения отсечки на выходе выпрямителя ВСП имеется индуктивно-емкостный фильтр Дрс.

В данной схеме действует также гибкая отрицательная о. с. по току якоря (обмотка ПМУП6), имеются сглаживающий фильтр на входе задающей обмотки ПМУП4 и конденсатор КС2 в узле жесткой отрицательной о. с. по напряжению генератора. Дополнительным стабилизирующим средством является контур, образуемый обмоткой управления силового усилителя УМС3, резистором СД1 и обмоткой управления промежуточного усилителя ПМУП1. При изменениях м. д. с. управления силового усилителя в его обмотке УМС3 наводится э. д. с. взаимной индукции и в контуре протекает ток. Воздействующий при этом на обмотку ПМУП1 сигнал является сигналом гибкой о. с. по постоянной составляющей магнитного потока, с которой связаны изменения выходного напряжения силового усилителя. Эта связь при надлежащем выборе ее знака повышает устойчивость каскадной схемы управления.

Схема управления приводом тяги экскаватора типа ЭШ-15/90А принципиально не отличается от схемы управления приводом подъема. В электроприводе поворота имеется специальный узел смягчения реверса, который уменьшает форсирование, ослабляя действие отрицательной о. с. по напряжению генератора или даже изменяя ее знак на противоположный, т. е. используется положительная о. с. по напряжению.

В узле защит и блокировок для защиты от аварийных перегрузок предусмотрены реле максимального тока РТМ, срабатывающие при превышении тока в главных цепях над стопорным током на 25 %.

4.6. СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА

На всех современных экскаваторах (кроме типа ЭКГ-4,6) в качестве приводного двигателя преобразовательного агрегата используется синхронный двигатель (на ЭКГ-4,6 устанавливается асинхронный двигатель). Асинхронный пуск синхронного двигателя осуществляется прямым подключением обмотки статора на полное напряжение сети.

После достижения подсинхронной частоты вращения на обмотку ротора подается напряжение возбуждения и двигатель «втягивается» в синхронизм. Схемы пуска синхронных двигателей на различных экскаваторах отличаются между собой лишь способом подачи напряжения возбуждения. На экскаваторах типов ЭШ-14/75 и ЭШ-15/90А подача напряжения возбуждения осуществляется с помощью реле частоты, контролирующего момент достижения двигателем подсинхронной частоты вращения, на экскаваторах типов ЭШ-10/60 и ЭКГ-8 — с помощью реле времени. Кроме того, на экскаваторах типов ЭШ-14/75, ЭШ-15/90А и

ЭШ-10/60 обмотка ротора синхронного двигателя в течение пуска замыкается на обмотку якоря возбудителя через большое разрядное сопротивление, а на экскаваторе типа ЭКГ-8 осуществляется глухое подключение обмотки ротора на якорь возбудителя.

На экскаваторе типа ЭКГ-8 в схеме управления пуском синхронного двигателя (рис. 4.15) имеются одно вспомогательное реле (реле времени *PB*) и контактор *КП*, подающий напряжение на обмотку возбуждения *ОВВ* возбудителя *В* синхронного двигателя *ДС*. При подаче напряжения питания на схему управления реле *PB* включается, поскольку катушка реле получает питание через размыкающий контакт *Л* масляного выключателя. После включения этого выключателя, подающего напряжение на обмотку статора двигателя, его контакт *Л* в цепи катушки реле *PB* размыкается и последнее отключается с выдержкой времени, достаточной для достижения двига-

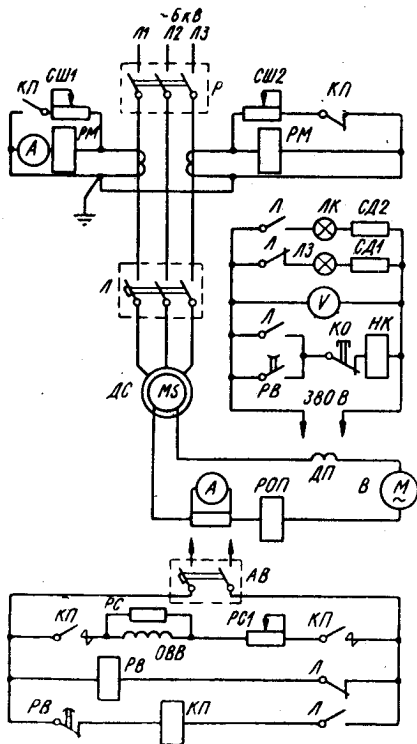


Рис. 4.15. Схема пуска синхронного двигателя преобразовательного агрегата экскаватора типа ЭКГ-8

телем подсинхронной частоты вращения. Размыкающий контакт реле *РВ* включает контактор *КП*, цепь питания которого заранее подготовлена к срабатыванию замыкающим контактом масляного выключателя.

Защита от исчезновения напряжения возбуждения осуществляется с помощью реле *РОП*, замыкающий контакт которого не допускает работу главных приводов при отключении реле.

4.7. ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОДНОКОВШОВЫХ ЭКСКАВАТОРОВ

Принципиальная схема распределения электроэнергии на экскаваторе типа ЭКГ-4,6 была показана на рис. 4.4. Основным потребителем энергии является главный приводной (сетевой) двигатель преобразовательного агрегата. Мощность этого двигателя в зависимости от производительности экскаватора ($620..2500 \text{ м}^3/\text{ч}$) может достигать 250..6000 кВт при напряжении питания 6000 В. Работа экскаватора с расчетной производительностью возможна только при его бесперебойном электроснабжении.

На рис. 4.16 изображена типовая схема электроснабжения одноковшового карьерного экскаватора. Воздушная линия напряжением 6 кВ идет от карьерного распределительного пункта (*КРП*) вдоль борта карьера. От нее делается ответвление к передвижному приключательному пункту *ПП*, на котором устанавливается комплектная распределительная ячейка *ЯКНО* или же ячейка *ПКРН*. Эти ячейки оборудованы разъединителем *Р* и масляным выключателем *ВМ*. Питание экскаватора от приключательного пункта осуществляется по кабельной линии (кабелю типа КШВГ).

Для приема и распределения электроэнергии на экскаваторе размещается распределительный шкаф (рис. 4.17). Аппаратура, установленная в шкафу, осуществляет:

а) пуск и отключение масляным выключателем статорной обмотки синхронного электродвигателя преобразовательного агрегата;

б) максимально-нулевую защиту приводного высоковольтного синхронного электродвигателя преобразовательного агрегата;

в) защиту трансформатора собственных нужд мощностью 75 кВ·А и напряжением 6000/400 В от коротких замыканий высоковольтными предохранителями с кварцевым наполнением.

Значительная доля в капитальных затратах на электрооборудование экскаватора приходится на стоимость линии питания. Снизить эти затраты можно уменьшением площади сечения проводов воздушной и кабельной линий,

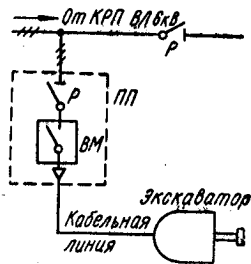


Рис. 4.16. Типовая схема электроснабжения одноковшового карьерного экскаватора

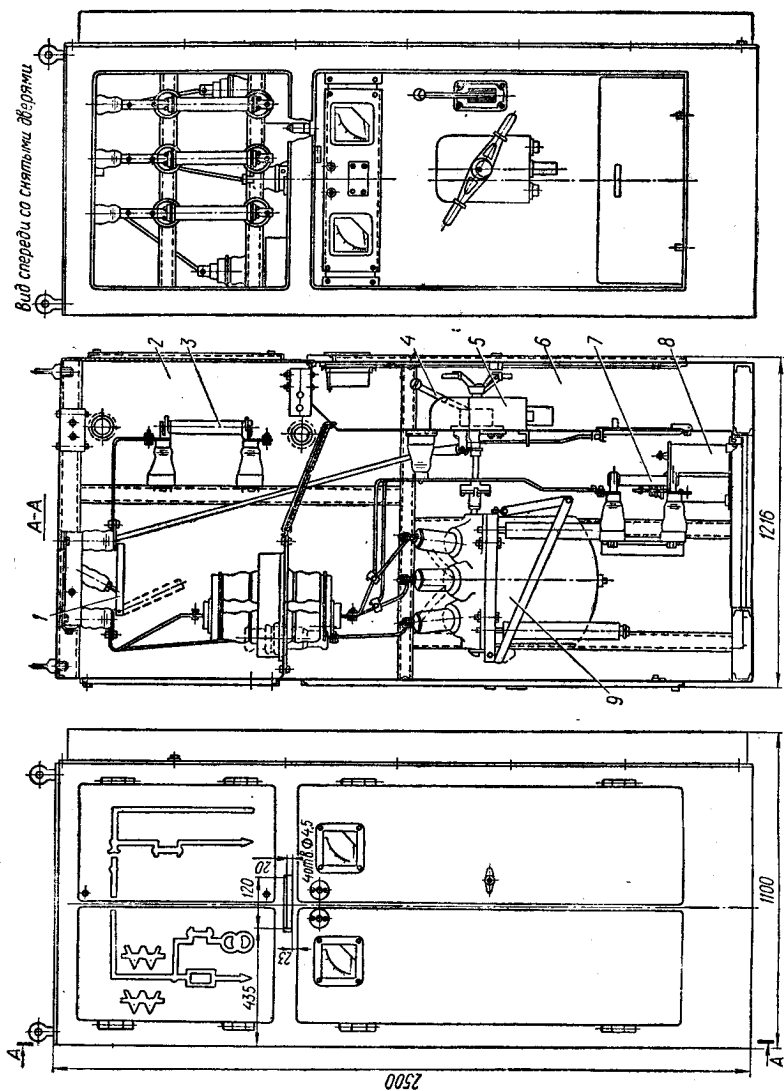


Рис. 4.17. Высоковольтный распределительный шкаф КВЭ-6, устанавливаемый на экскаваторе типа ЭКГ-4Б:
 1 — разъединитель; 2 — верхний отсек; 3 — силовые высоковольтные предохранители; 4 — привод разъединителя; 5 — привод выключателя; 6 — отсек управления; 7 — высоковольтные предохранители для трансформатора напряжения; 8 — трансформатор напряжения; 9 — масляный выключатель

что может быть достигнуто путем компенсации реактивной мощности установки. Так как основным потребителем электроэнергии на экскаваторе является сетевой двигатель, то им и определяется средневзвешенный коэффициент мощности всей установки. На экскаваторе средней производительности, где сетевым двигателем является асинхронный двигатель сравнительно небольшой мощности, средневзвешенный коэффициент мощности не превышает 0,6 ... 0,65. Использование на экскаваторах большой производительности в качестве главного приводного двигателя синхронного позволяет добиться компенсации реактивной мощности за счет регулирования напряжения возбуждения двигателя и довести средневзвешенный коэффициент мощности до 0,8 ... 0,9, что существенно снижает массу и стоимость питающей линии.

4.8. ЭЛЕКТРОПРИВОД МНОГОКОВШОВЫХ ЭКСКАВАТОРОВ

К выемочно-погрузочным машинам непрерывного действия относятся роторные и цепные многоковшовые экскаваторы, отвалообразователи и отвальные мосты. К их числу могут быть отнесены также драги. Не имея возможности уделить достаточное внимание описанию этих машин, рассмотрим лишь роторные многоковшовые экскаваторы, получившие в последнее время широкое применение при строительстве крупных плотин, каналов, дамб и других сооружений, а также при добыче полезных ископаемых открытым способом. Как правило, такие экскаваторы сочетаются с конвейерным транспортом, направляя поток грунта, песка или полезного ископаемого к железнодорожным составам, автомобильному транспорту, на склады или отвалы на расстояние до нескольких сот метров.

Общий вид роторного экскаватора показан на рис. 4.18. Разработка грунта или полезного ископаемого производится с помощью ковшей 1, установленных на роторном колесе. Роторная

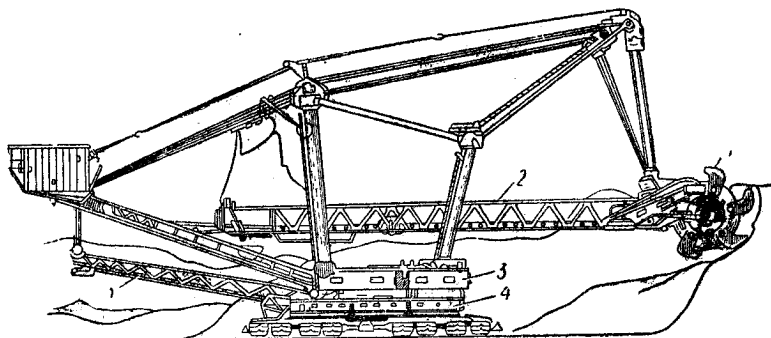


Рис. 4.18. Общий вид роторного экскаватора

стрела 2 экскаватора может быть поднята тросами, задний конец ее при этом перемещается на подвижной тележке. Стрела может поворачиваться с поворотной платформой 3 относительно неподвижной базы 4. В процессе работы стрела устанавливается на определенной высоте и совершает маятниковые движения относительно вертикальной оси. Ковши вращающегося ротора при повороте стрелы производят выработку грунта или забоя. Перемещение породы либо полезного ископаемого вдоль стрелы производится ленточным конвейером, а далее отвальным конвейером 5 на поворотной платформе.

Роторные экскаваторы имеют ряд преимуществ по сравнению с одноковшовыми благодаря непрерывности рабочего цикла. Они все больше применяются в зарубежной и отечественной практике. Производительность этих машин лежит в пределах от сотен до нескольких тысяч кубических метров в час.

Основными электроприводами роторных экскаваторов являются приводы рабочего колеса, подъема стрелы, поворота платформы, хода и конвейеров. Все они не требуют большого диапазона регулирования скорости. Управление ими осуществляется дистанционно из главной кабины или кабин погрузки.

Характерной является схема электропривода экскаватора типа ЭРГ-400-17/1,5 (рис. 4.19). Все двигатели здесь (кроме поворотных) — асинхронные, питаются напряжением 380 В. Привод поворота выполнен по системе Г—Д. В электроприводе преобразовательного агрегата мощностью более 500...600 кВт используется синхронный двигатель.

Общее количество электрических машин на многоковшовых экскаваторах достигает 150 и больше. Так, например, на роторном экскаваторе типа ЭРГ-1600-40/1031 имеется 124 электрические машины суммарной мощностью 7100 кВт. Установленная мощность их составляет около 1,2 кВт·А на 1 т массы экскаватора. Управление приводами механизмов сосредоточено в двух кабинах: на стреле ротора и у разгрузочной стрелы. Приводы роторного колеса, приемного, отвального и других конвейеров заблокированы между собой так, что включение каждого из них возможно, когда работает вся последующая технологическая цепочка конвейеров. У роторных экскаваторов различных типов изменяются, главным образом, приводы роторного колеса, поворота и ходового механизма.

Типы и основные характеристики электроприводов таких машин или комплексов, схемы их электроснабжения зависят от технологических параметров (производительности, высоты копания и т. д.), условий эксплуатации, назначения приводов и пр. Условия работы электрооборудования роторных экскаваторов характеризуются значительными перенапряжениями, наличием вибрации, повышенной влажностью и запыленностью, резко меняющейся температурой и т. п. Роторный экскаватор получает питание от карьерной распределительной сети посредством гибкого кабеля, наматываемого на барабан. Распределительные

устройства располагаются на нижней раме и на поворотной части экскаватора. Передача электроэнергии на поворотную часть осуществляется через токосъемник с контактными кольцами, находящийся на оси экскаватора. Электроустановки, расположенные на подвижных узлах экскаватора (стрела ротора), питаются посредством гибких кабельных переходов в виде шлейфов и петель.

Важнейшим электроприводом роторного экскаватора является привод его роторного колеса как исполнительного органа машины. Характеристики этого привода в значительной степени определяют эффективность работы экскаватора, а следовательно, и всего комплекса технологически связанных между собой машин. Работа привода роторного колеса характеризуется отсутствием статического режима, что объясняется непрерывным колебанием нагрузки на валу двигателя, вызванным периодическим изменением числа одновременно режущих ковшей и параметров стружек, неоднородностью разрабатываемого грунта и неравномерным износом зубьев.

Основные требования, предъявляемые к приводу роторного колеса, следующие:

1. Удовлетворительная защита колеса от стопорения и перегрузок, снижение динамических нагрузок на несущие конструкции экскаватора.

2. Гибкость, простота и легкость управления.

3. Высокая надежность (привод работает в тяжелых условиях).

Для обеспечения рациональных режимов выемки различных грунтов привод роторного колеса, как правило, должен быть регулируемым. Целесообразный диапазон регулирования частоты вращения ротора зависит от типа машины, характера вынимаемого грунта, технологии работы и для большинства экскаваторов колеблется в пределах от 20 до 60 % номинального значения.

Асинхронный электропривод с двигателем, имеющим короткозамкнутый или фазный ротор, используют в экскаваторах малой производительности, предназначенных для выемки преимущественно однородных грунтов. В роторных экскаваторах большой производительности или предназначенных для работы в тяжелых условиях обычно применяют регулируемый электропривод постоянного тока по системе Г—Д с различными схемами возбуждения генератора.

На рис. 4.20 изображена упрощенная принципиальная схема электропривода роторного колеса по системе Г—Д с МУ. Приводом управляет машинист с помощью бесконтактного (сельсинного) контроллера СК. Схема предусматривает плавный разгон и торможение привода, а также регулирование частоты вращения приводного двигателя в пределах 520...750 об/мин при постоянном моменте без ослабления поля возбуждения двигателя.

Генератор Г имеет три обмотки возбуждения. Две независимые обмотки *ОВГ1* и *ОВГ2* включены на выход двухтактного блока силовых магнитных усилителей *СМУI* и *СМУII* по мостовой реверсивной схеме так, что их результирующие м. д. с. про-

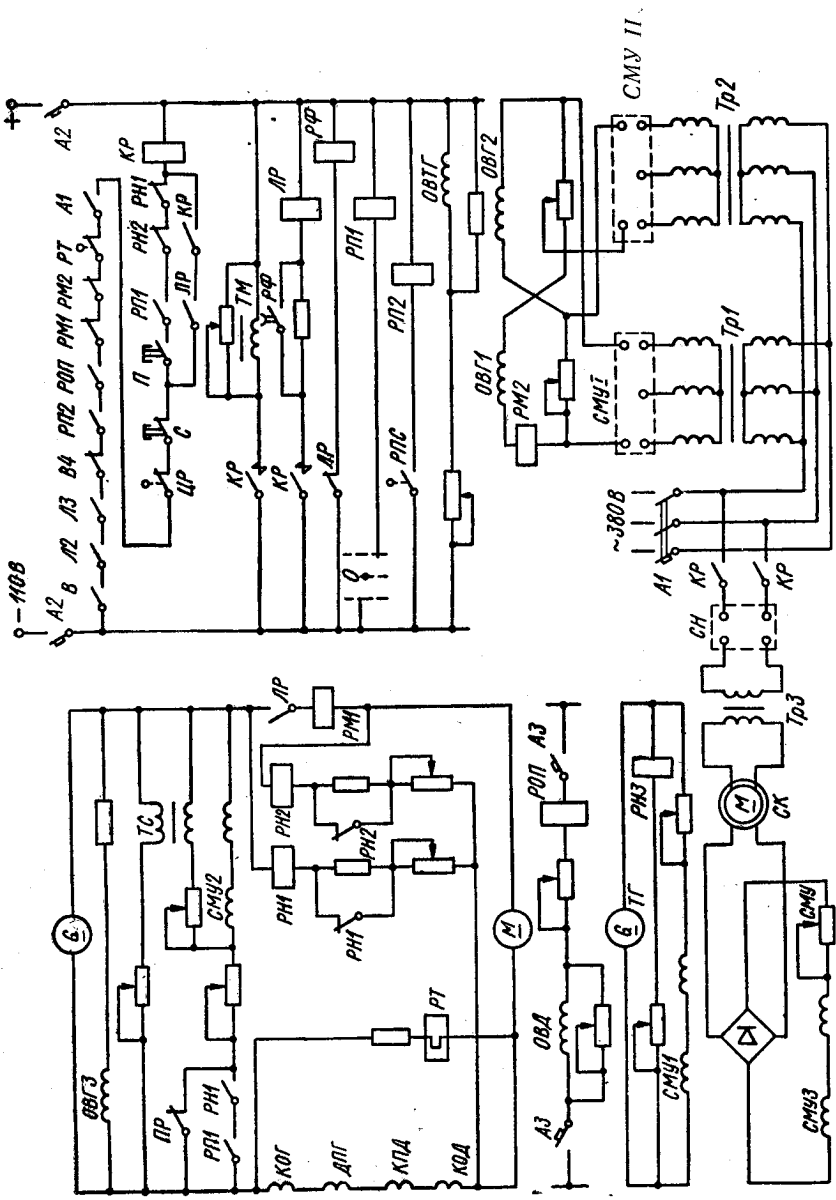


Рис. 4.20. Упрощенная принципиальная схема электропривода роторного колеса по системе Г-Д с МУ экскаватора типа ЭРШР-1000

порциональны разности выходных токов усилителей. Обмотка самовозбуждения *ОВГЗ*, включенная на напряжение генератора, служит для уменьшения мощности, потребляемой МУ.

МУ имеют по четыре обмотки управления. Обмотки смещения усилителей (на схеме не показаны) предназначены для подрегулировки выходных параметров МУ. Задающие обмотки *СМУЗ* подключены через выпрямительный мост к выходу командоконтроллера *СК*. Протекание тока управления по ним вызывает увеличение выходного тока одного усилителя и уменьшение другого.

Стабилизирующие обмотки *СМУ2* осуществляют гибкую и жесткую отрицательные о. с. по напряжению генератора при остановке привода во избежание ползучей скорости. При остановке привода цепь этих обмоток подготавливается замыкающим контактом реле *РП1*. Реле тормозного режима *РН1* удерживается при снижении напряжения генератора до 40...60 В и своим замыкающим контактом замыкает цепь питания обмоток. При разрыве цепи защит и блокировок обмотки питаются через размыкающий контакт *ЛР*.

Обмотки *СМУ1* отрицательной о. с. по частоте вращения двигателя включены на напряжение тахогенератора *ТГ*. Эти обмотки повышают жесткость механических характеристик, быстродействие и управляемость электропривода.

После включения автоматов *А1*,...,*А3* питание подается на стабилизатор напряжения *СН*, магнитные усилители *СМУ1* и *СМУИ1*, обмотки возбуждения двигателя *ОВД* и тахогенератора *ОВТГ*. В цепи катушки блокировочного контактора *КР* имеются контакты следующих защит: максимальной токовой главной цепи (*РМ1*), от перевозбуждения генератора (*РМ2*), от обрыва поля возбуждения двигателя (*РОП*), от длительных перегрузок привода (*РТ*), от превышения допустимой скорости (*ЦР*), от замыкания главной цепи при неразмагниченном генераторе или вращающемся двигателе (*РН1* и *РН2*) и следующих блокировок: с масляным выключателем сетевого двигателя системы Г—Д привода ротора (контакт *В*), нулевая (контактор *КР*), с автоматом питания МУ (контакт *А1*), с вентиляторами генератора и двигателя привода ротора (контакты *Л2* и *Л3*), нулевого положения командоаппарата *СК* (реле *РП1*), работы смазочных устройств редуктора (реле протока *РПС* и промежуточное *РП2*).

Если действуют все блокировки, то при нажатии пусковой кнопки *П* включается контактор *КР*, который своими замыкающими контактами включает магнит тормоза *ТМ* и катушку линейного контактора *ЛР*. Привод растормаживается, а контактор *ЛР* замыкает главную цепь и с помощью реле форсирования *РФ* вводит в цепь своей катушки добавочное сопротивление. При включении контактора *КР* замыкаются его контакты в цепи нулевой защиты и в цепи трансформатора *ТрЗ*. На командоаппарат *СК* подается питание и машинист получает возможность регулировать скорость электропривода. Реле напряжения *РНЗ* от-

ключает привод поворота при стопорении роторного колеса экскаватора.

Отключение привода производится кнопкой С («Стоп»). Схемой предусмотрен реверс электропривода, который нужен при ремонте, наладке или при нижнем черпании грунта.

Рассмотренная система электропривода обеспечивает плавную регулировку частоты вращения двигателя, требуемую форму его механической характеристики и высокие динамические качества привода. При проектировании новых роторных экскаваторов питание обмоток возбуждения генератора осуществляют от силовых МУ или тиристорных преобразователей.

Глава 5 ЭЛЕКТРОПРИВОД ПОДЪЕМНИКОВ

5.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПАССАЖИРСКИХ И ГРУЗОВЫХ ЛИФТАХ

Вертикальное транспортирование людей и грузов осуществляют с помощью специальных механизмов — подъемников, в качестве которых применяются в основном лифты различных типов и конструкций, эскалаторы, пассажирские конвейеры, многокабинные подъемники (патерностеры) и, наконец, шахтные подъемные машины. Подъемники по режиму работы делятся на две большие группы — *периодического (прерывного)* и *непрерывного действия*.

Наибольшее распространение в настоящее время получили лифты — стационарные подъемники периодического действия, предназначенные для транспортирования пассажиров и грузов с одного уровня на другой в кабине, которая движется в специальной шахте по вертикальным направляющим. Лифтами оборудуются здания и сооружения самого различного назначения. В здании лифты могут устанавливаться в сочетании с другими видами подъемников — эскалаторами и пассажирскими конвейерами. Для большинства многоэтажных зданий лифты оказываются единственным средством решения транспортных проблем, связанных с перемещением значительного количества людей и грузов на различные высоты.

В зависимости от характера перевозимого груза лифты бывают *пассажирские, грузопассажирские и грузовые*. Жилые и административные здания в зависимости от этажности, заселенности и других факторов оборудуются пассажирскими грузовыми лифтами широкой номенклатуры по грузоподъемности и скорости. Грузовые лифты применяются также на промышленных предприятиях, в складских помещениях и прочих объектах.

В многоэтажных промышленных зданиях лифты являются одним из важных звеньев технологического процесса. В отдельных случаях в зданиях, например в больницах, устанавливаются грузопассажирские лифты, которые служат не только для перевозки людей, но и для транспортирования крупногабаритных предметов (таких, как лабораторное оборудование, мебель и т. д.), а также больных на носилках. Основное отличие таких лифтов — увеличенные размеры кабины лифта и ширины дверного проема.

В современных библиотеках, книгохранилищах, магазинах, столовых и других предприятиях наряду с пассажирскими и грузовыми широко используются также *малые грузовые и магазинные* лифты.

На элеваторах, в холодильниках, на гидротехнических объектах, судах и других сооружениях устанавливаются *специальные* лифты соответственно условиям их эксплуатации, в шахтах, на предприятиях химической и металлургической промышленности — лифты, электрооборудование которых имеет взрывозащищенное исполнение.

Грузоподъемность пассажирских лифтов составляет 300...1500 кг, грузовых — доходит до 5000 кг, малых грузовых — до 500 кг.

В зависимости от скорости кабины лифты разделяются на *тихоходные* (до 0,5...0,75 м/с) и *быстроходные* (более 0,75 м/с).

Для обеспечения нормального самочувствия пассажиров ускорение и замедление кабин лифтов не должны превышать 2 м/с^2 , а скорость — 5 м/с.

Выбор типа и параметров лифта производят с учетом назначения здания и законов изменения пассажиро-грузопотока. Основными критериями технико-экономической оценки проектируемого вертикального транспорта являются экономические, функциональные (производственные), а также показатели комфортабельности, к которым относятся коэффициент заполнения кабины, затрата времени на транспортирование и длина очереди на обслуживание.

В современных пассажирских и грузовых лифтах, принципиально мало отличающихся между собой, имеется очень много механизмов одинакового назначения. На рис. 5.1, а показан общий вид пассажирского лифта.

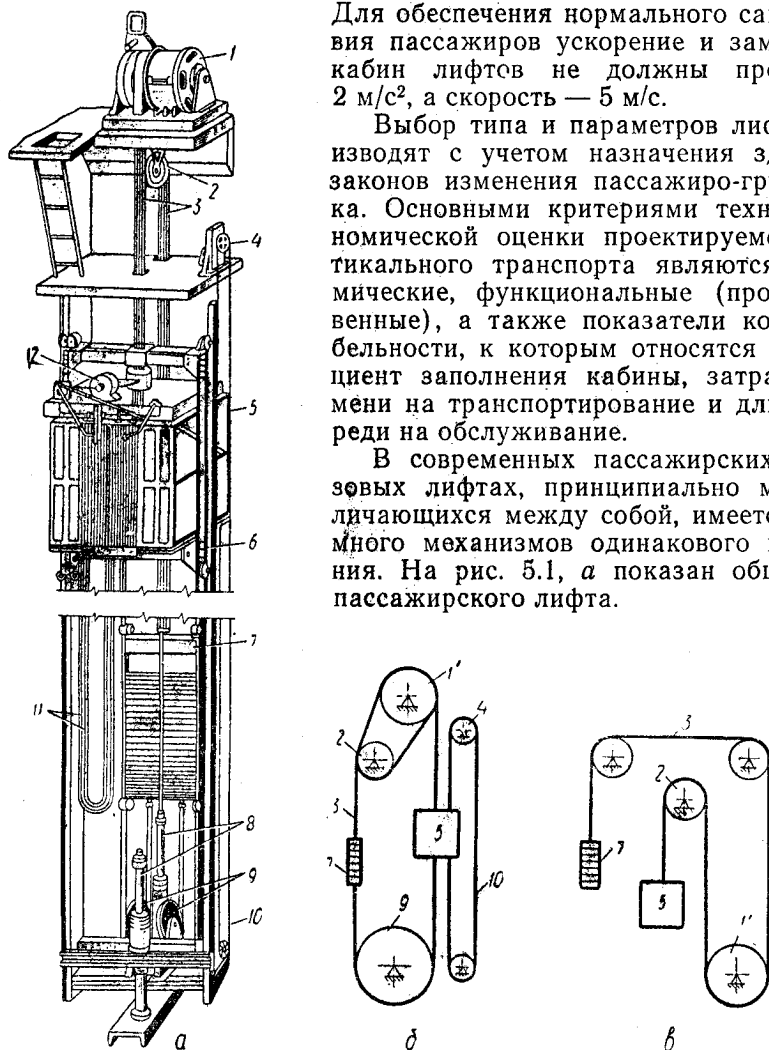


Рис. 5.1. Общий вид пассажирского лифта (а) и кинематические схемы лифтов (б, в)

Приводной двигатель 1 лифта расположен над шахтой в машинном помещении. Шахта проходит через все здание по вертикали и имеет ограждение со всех сторон по высоте. В шахте установлены направляющие для кабины 5 и противовеса 7. Кабина перемещается в шахте вдоль своих направляющих 6, которые охватываются роликами. Кабина и противовес подвешены на стальных проволочных канатах 3 с помощью специальных подвесок. Канаты проходят через шкив, который вращается от электродвигателя посредством редуктора. Под лебедкой лифта находится отводной шкив 2. Остановка привода производится электромагнитным колодочным тормозом. Кабина лифта и этажные проемы в шахте снабжены раздвижными или распашными дверями. В верхней и нижней частях шахты размещены концевые выключатели, ограничивающие предельное перемещение кабины. В приемке шахты установлены натяжное устройство ограничителя скорости, направляющие шкивы 9 и гидравлические (или пружинные) буфера 8, которые в случае неисправности системы управления должны остановить кабину на расстоянии не менее 750 мм от дна приемки до низа кабины.

Во избежание падения кабины при обрыве канатов ее каркас оборудуется ловителями, предназначенными для остановки аварийно движущейся кабины вниз. Падающую кабину ловители задерживают, заклинивая ее в направляющих. Ловители и ограничитель скорости 4, связанный с кабиной тросом 10, представляют собой взаимосвязанные устройства, предотвращающие не только падение кабины при обрыве несущих канатов, но и останавливающие ее при повышении установленной скорости или ослаблении натяжения канатов.

Управление движением кабины производится с помощью кнопочного аппарата, установленного внутри кабины. Кнопочный аппарат соединен посредством гибкого кабеля 11 с панелью управления лифтом, находящейся в машинном помещении.

При прохождении кабины мимо какого-либо этажа отводка, установленная на кабине лифта, воздействует на этажный переключатель. В случае подхода кабины к заданному этажу этажный переключатель переводит привод лифта на малую скорость. После срабатывания датчика точной остановки, размещенного в шахте, катушка тормоза и электродвигатель привода обесточиваются, механический тормоз срабатывает и кабина останавливается. Затем питание подается на электродвигатель 12 привода дверей кабины и двери автоматически открываются.

После выхода пассажиров из кабины и срабатывания реле времени двери кабины закрываются, а сигнальные лампочки вызывных аппаратов, установленных на этажах, гаснут, свидетельствуя о том, что лифт свободен.

Двери кабины и замки дверей шахты оборудованы электроблокировкой, исключающей пуск лифта, если дверь кабины или хотя бы одна из дверей шахты закрыта неполностью.

По кинематическому исполнению пассажирские лифты подразделяются на *лифты с верхним* (рис. 5.1, б) и *нижним* (рис. 5. 1, в) расположениями приводного механизма. При нижнем расположении привода I' обеспечивается лучшая звукоизоляция, упрощается обслуживание и ремонт оборудования лифта, при верхнем — повышается к. п. д. установки, уменьшается износ канатов, снижаются нагрузки на строительные конструкции здания и понижаются капитальные затраты. В настоящее время преимущественно применяются лифты с верхним расположением электропривода.

5.2. ЭЛЕКТРОПРИВОД И АППАРАТУРА УПРАВЛЕНИЯ ЛИФТОВ

Значительный опыт проектирования и эксплуатации вертикального транспорта позволил выработать основные требования, которым должен удовлетворять электропривод лифтов, и выбрать для них наиболее целесообразные системы управления.

Электропривод лифта должен обеспечивать возможность реверсирования, точную остановку кабины на заданной высоте, минимальное время переходных процессов при строго ограниченных максимальных значениях ускорения и его производной — рывка; высокую надежность и экономическую эффективность.

В процессе развития и совершенствования электрооборудования пассажирских и грузовых лифтов стремились использовать наиболее простой электропривод — асинхронный с двигателем, имеющим короткозамкнутый ротор. Такое решение упрощает не только конструкцию установки, но и ее эксплуатацию.

Основным электроприводом лифтов массового применения в настоящее время является электропривод переменного тока с одно- либо двухскоростным асинхронным двигателем, имеющим короткозамкнутый либо фазный ротор. Электропривод с односкоростным двигателем наиболее прост и применяется в тихоходных лифтах ограниченной номенклатуры: малых грузовых, магазинных, тротуарных и некоторых специальных, которые не требуют высокой точности остановки. Приводной электродвигатель с повышенным скольжением при относительно больших пусковых моментах должен иметь низкое значение пускового тока. Пуск электродвигателя — прямой, торможение — механическое на полной рабочей частоте вращения после снятия напряжения.

В наиболее распространенном электроприводе с двухскоростным асинхронным двигателем, имеющим короткозамкнутый ротор и две независимые обмотки на статоре, реализуются характеристики, отвечающие требованиям, предъявляемым к лифтовым установкам: повышенные пусковые моменты, ограниченные значения пусковых токов, повышенное скольжение и др. Двухскоростными двигателями оборудуются все новые модели пассажирских быстроходных лифтов, а также типовые грузопассажирские и грузовые лифты. Такой электропривод позволяет сни-

зить в несколько раз рабочую скорость кабины перед остановкой, что уменьшает износ тормозного устройства и увеличивает саму точность остановки. Пуск двухскоростных электродвигателей — прямой на высокую скорость. Торможение производится путем переключения напряжения на обмотку малой скорости. При этом двигатель переходит на режим генераторного торможения и частота его вращения снижается в 3—4 раза. Остановка двигателя осуществляется отключением от сети обмотки малой скорости и наложением механического тормоза.

Быстроходные лифты оборудуют безредукторным электроприводом постоянного тока с питанием приводного двигателя по системе Г—Д либо от управляемого тиристорного преобразователя. Электропривод новых моделей лифтов содержит тихоходные электродвигатели с частотой вращения 68 и 136 об/мин и питанием от тиристорных преобразователей, что обеспечивает необходимый диапазон регулирования скорости кабины и поддержание параметров переходных процессов в заданных пределах.

На рис. 5.2 изображены электроприводы лифтов с редукторной и безредукторной лебедками.

Система автоматики для лифта выбирается в зависимости от типа лифтовой установки, конструкции, назначения и технологических требований к ее управлению. Различают следующие системы автоматики:

а) систему с наружным кнопочным управлением (применяется в грузовых, малых грузовых магазинных и тротуарных лифтах, когда управление лифтом осуществляется с кнопочной панели или кнопочного поста, устанавливаемых на одной из этажных площадок, а вызов кабины происходит одновременно с подачей светового и звукового сигналов путем нажатия кнопки вызывного аппарата);

б) систему с внутренним кнопочным управлением (применяется в грузопассажирских лифтах, предназначенных для работы с проводником, когда управление лифтом производится из кабины, а ее вызов осуществляется подачей светового и звукового сигналов в кабину проводника);

в) систему с собирательным управлением (применяется во всех моделях пассажирских лифтов, когда управление лифтом производится как из кабины, так и с этажной площадки с выполнением или без выполнения попутных вызовов).

Система с собирательным управлением и выполнением попутных вызовов в зависимости от количества лифтов, работающих совместно, может быть с *одиночным, парным или групповым* управлением. Парное и групповое управление выполняется общим для группы или пары лифтов, обслуживающих одни и те же этажи здания и имеющих общие лифтовые холлы на этажах. Такое управление обеспечивает согласованную работу пары или группы лифтов, при которой достигаются максимальная производительность установки в целом и минимальное время ожидания.

Для обеспечения автоматического управления лифтами, помимо аппаратуры общего применения (контакторов, автоматических выключателей, кнопок управления, концевых выключателей и др.), выпускается также специальная электроаппаратура.

Этажные переключатели, устанавливаемые на каждом этаже, предназначены для выполнения коммутационных операций в электрических цепях контакторов, питающих приводной электродвигатель, а также в цепях управления двигателями открывания дверей кабины и шахты. На рис. 5.3 показана конструкция этажного переключателя типа ПЭ-1. В корпусе 7 винтами 9 укреплены два блокировочных устройства 8 и 10, имеющих по одному замыкающему и одному размыкающему контактам. Рычаг 4 переключателя, снабженный резиновым роликом 2, может находиться в трех положениях — двух крайних и среднем. На рисунке показаны также ось ролика 1, шплинт 3, ось рычага 14 и гайка 15.

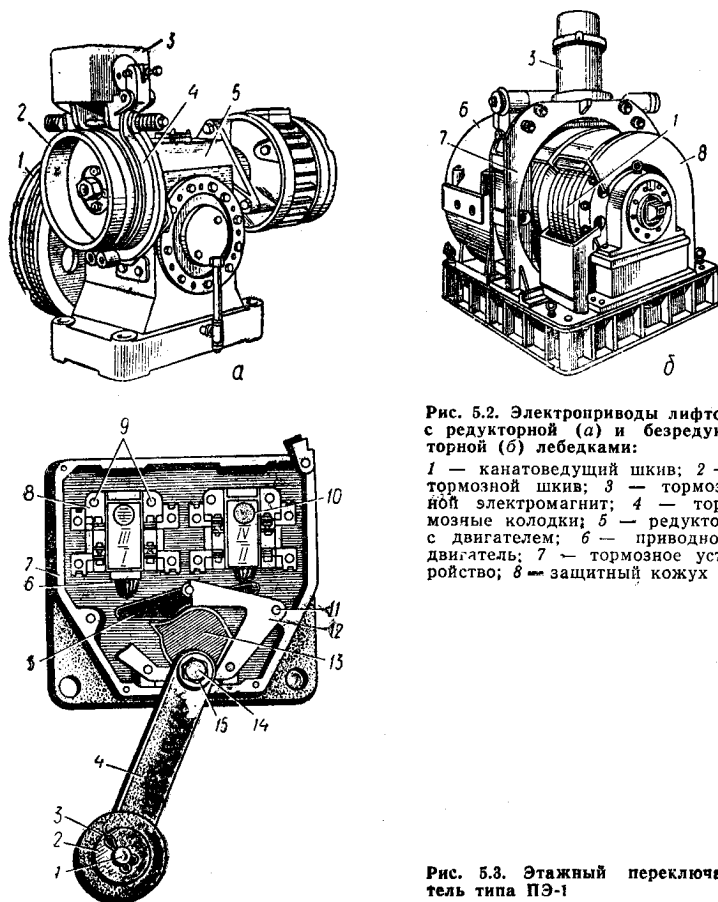


Рис. 5.2. Электроприводы лифтов с редукторной (а) и безредукторной (б) лебедками:

1 — канатоведущий шкив; 2 — тормозной шкив; 3 — тормозной электромагнит; 4 — тормозные колодки; 5 — редуктор с двигателем; 6 — приводной двигатель; 7 — тормозное устройство; 8 — защитный кожух

Рис. 5.3. Этажный переключатель типа ПЭ-1

Перевод рычага переключателя из одного положения в другое производится в результате воздействия на ролик специальной направляющей отводки, установленной на кабине. При перемещении рычага переключателя вращается кулачок 13, жестко укрепленный на оси 14, и посредством нажимного рычага 5 воздействует на штоки 6 блок-контактов 8 и 10. Каждому из трех положений рычага соответствует вполне определенное состояние четырех контактов переключателя. На рис. 5.3 изображен также винт 11, крепящий рамку 12.

При движении кабины по шахте рычаги этажных переключателей переключаются автоматически. Для этого на каркасе кабины укрепляется комбинированная отводка 5 (рис. 5.4), паз которой имеет вертикальную часть и участки с ребрами А и Б, расположенные под углом к вертикальной части. Эти участки размещены на концах отводки, причем в ее верхней части паз наклонен в одну сторону (на рис. 5.4 влево), а в нижней части — в другую (вправо). Рычаг 3 этажного переключателя 2 повернут относительно вертикали влево (переключатель закреплен

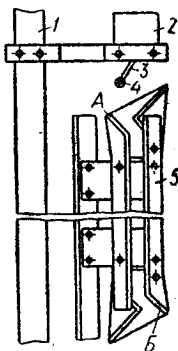


Рис. 5.4. Комбинированная отводка и этажный переключатель

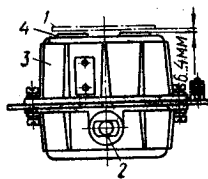
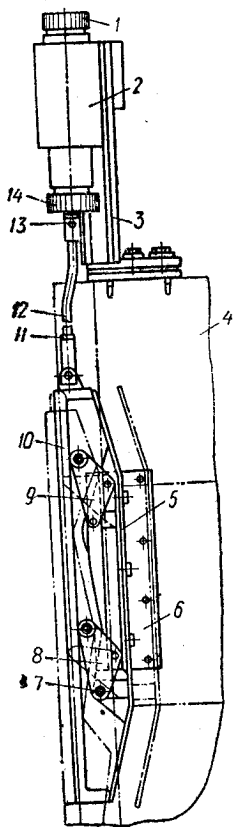


Рис. 5.5. Индуктивный датчик типа ИКВ-22

Рис. 5.6. Электромагнитная отводка



на шахтной направляющей 1). При движении кабины, например, вверх комбинированная отводка набегают на ролик 4 этажного переключателя и ребром А переводит рычаг вначале в вертикальное положение, а затем, если не требуется останова, ребром Б вправо.

Этажные переключатели устанавливаются на лифтах со скоростью кабины не более 0,71 м/с. При больших скоростях применение механических выключателей становится нецелесообразным, так как они создают значительный шум, радиопомехи и малонадежны. Поэтому в настоящее время в системах автоматизации лифтов все чаще применяются устройства, работающие на принципе изменения электрических параметров цепи.

На рис. 5.5 показан общий вид индуктивного датчика типа ИКВ-22, который используется как для обеспечения селекции управле-

ния, так и для точной остановки кабины. Датчик состоит из разомкнутого П-образного магнитопровода 4 с катушкой, заключенных в кожух 3, и регулировочного винта 2. Такие датчики устанавливаются на направляющих кабины на всех этажах, а шунт 1 крепится к боковой стенке кабины. Датчики точной остановки размещаются на каркасе кабины сверху, а шунты крепятся с помощью кронштейнов к направляющим кабины.

Кнопки управления применяются нормального исполнения, а также малогабаритные. В некоторых системах управления лифтами используются кнопки с «залипанием» или с загоранием светового сигнала, свидетельствующего о принятии вызова.

Дверные контакты входят в систему блокировки, которая позволяет кабине лифта двигаться лишь при закрытых дверях кабины и шахты. Для этой цели применяются малогабаритные концевые выключатели, срабатывающие при закрывании двери.

Контакты пола представляют собой малогабаритные концевые выключатели, срабатывающие от опускания подвижного пола кабины при входе пассажира. Эти контакты обеспечивают зажигание света в кабине, устраняют ее вызов с пассажиром на другой этаж, разрешают автоматический возврат кабины на первый этаж после выхода пассажиров и закрытия дверей шахты и т. д.

Контакты ловителя, связанные с механизмом его захвата, срабатывают при превышении допустимой скорости кабины и отключают питание приводного электродвигателя.

Электромагнитная отводка предназначена для обеспечения закрытого состояния дверей шахты до подхода кабины к заданному этажу. Электромагнит отводки 2 (рис. 5.6) устанавливается на кабине 4 и во включенном состоянии обеспечивает тяговое усилие, достаточное для того, чтобы посредством тяги 12 поднять груз 10 и отвести лыжу 5 от ролика рычага автоматического замка с целью не допустить возможность открыть дверь шахты после ухода кабины с этажа. При остановке кабины на заданном этаже напряжение с электромагнита снимается, якорь опускается, пластины 8 и 9 перемещаются и лыжа отводки, воздействуя на рычаг автоматического замка, обеспечивает его открывание.

На рис. 5.6 показаны также верхняя крышка 1, кронштейн 3 электромагнита, кронштейн 6 отводки, соединительные пальцы 7, 13, контргайка 11 и круглая гайка 14.

5.3. ТИПОВЫЕ СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТИХОХОДНЫМИ ЛИФТАМИ

Наиболее простой схемой управления тихоходным лифтом является принципиальная схема грузового лифта с наружным кнопочным управлением, показанная на рис. 5.7. Лифт имеет

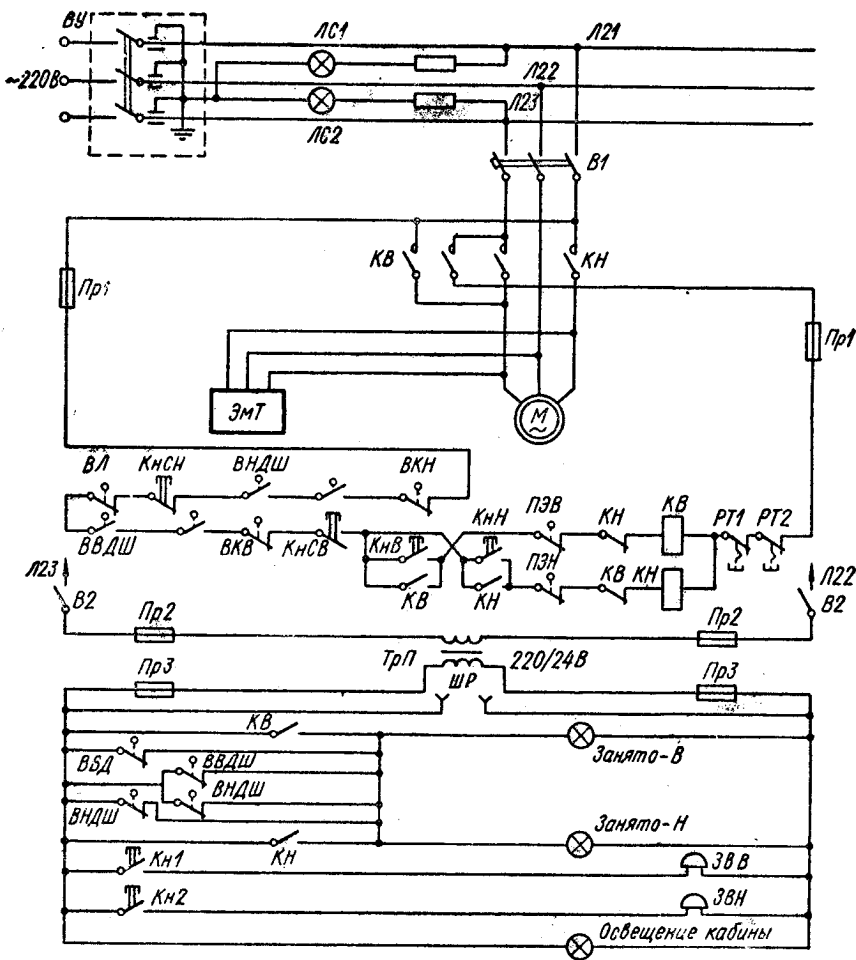


Рис. 5.7. Принципиальная схема грузового лифта

всего две остановки и управляется с нижнего и верхнего этажей. Асинхронный двигатель M с короткозамкнутым ротором и тормозной электромагнит ЭМТ подключаются к сети через выключатель $BУ$, автомат $B1$ и реверсивные контакторы $KВ$, $KН$. Защита электродвигателя осуществляется токовыми реле $РТ1$ и $РТ2$ с размыкающими контактами без самовозврата реле в цепи управления. Если замкнуты блокировочные контакты (дверей шахты $ВВДШ$, $ВНДШ$, ловителя $ВЛ$), то при нажатии кнопки $КнВ$ (вверх) или $КнН$ (вниз) включится контактор $KВ$ или $KН$. Когда кабина придет на этаж, этажный переключатель $ПЭВ$ (или $ПЭН$) разомкнет цепь катушки контактора. В схеме имеются также концевые выключатели $ВКВ$ (верхний), $ВКН$ (ниж-

ний) и остановочные кнопки $K_{нСН}$, $K_{нСВ}$, установленные на нижнем и верхнем этажах.

Сигнализация о наличии напряжения производится лампами $ЛС1$ и $ЛС2$, включенными через добавочные резисторы. Цепи остальной сигнализации питаются от понижающего трансформатора $ТрП$ со вторичным напряжением 24 В. Контакты дверей шахты $ВВДШ$ и $ВНДШ$, а также блок-контакты контакторов $КВ$ и $КН$ управляют сигнальными лампами «Занято». Кнопками вызова $КН1$ и $КН2$ включаются звонки $ЗвВ$ и $ЗвН$.

На рис. 5.8 изображена принципиальная схема пассажирского лифта с собирательной системой управления. Лифт приводится в движение асинхронным электродвигателем $М$ с контактными кольцами. Разгон двигателя осуществляется в три ступени с управлением по времени посредством механических реле $РВ$, $РН$, $РУ1$ и $РУ2$, пристроенных к контакторам $КВ$, $КН$, $КУ1$ и $КУ2$. Параллельно статорной обмотке двигателя включен тормозной электромагнит $ЭМТ$, который при включении растормаживает механизм электродвигателя. Пуск лифта может производиться вызывными кнопками $КП1, \dots, КП5$ из кабины или $КВ1, \dots, КВ5$ (с любого этажа здания). Этажные переключатели

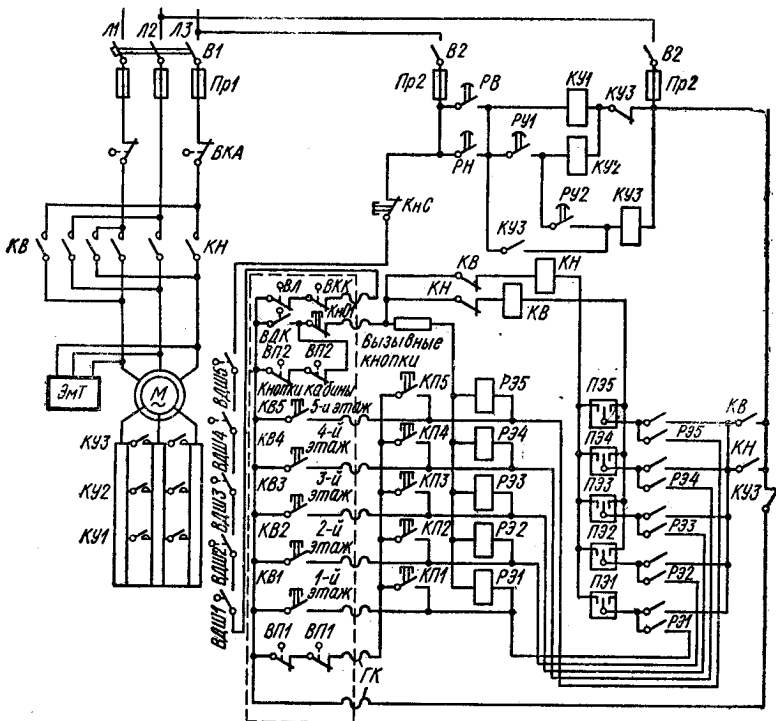


Рис. 5.8. Принципиальная схема пассажирского лифта

РЭ1, ..., РЭ5 установлены на соответствующих этажах. Этажные реле *РЭ1, ..., РЭ5* находятся на панели управления лифтом. Количество этажных переключателей и реле соответствует числу этажей, обслуживаемых лифтом (для данной схемы оно равно пяти).

Электрооборудование, расположенное в кабине, связано с панелью управления гибким кабелем *ГК*. Контакты концевого выключателя *ВКА*, ограничивающего в аварийных случаях ход кабины вверх и вниз, включены непосредственно в статорную цепь двигателя. В схеме управления применен концевой выключатель рубящего типа прямого действия. Для исключения возможности включения лифта с открытыми дверями шахты и кабины в цепь управления введены дверные контакты *ВДШ1, ..., ВДШ5* шахты и *ВДК* кабины. В эту же цепь включены: контакт концевого выключателя *ВКК*, контролирующего натяжение канатов (он размыкается при их ослаблении или обрыве); контакт ловителя *ВЛ*, размыкающийся при срабатывании механизма ловителя; контакты пола *ВП1* и *ВП2*, которые размыкаются при наличии пассажира в кабине и замыкаются при ее освобождении. Контакты *ВП1* дают возможность вызвать кабину, если пассажиров в ней нет. Контакты *ВП2* шунтируют контакт *ВДК*, когда пассажир вышел из кабины, а ее дверь осталась открытой.

Рассмотрим работу схемы лифта, когда пассажиру необходимо подняться с первого этажа на четвертый. Пассажир входит в кабину, при этом контакты пола *ВП1* размыкаются и цепь вызывных кнопок *КВ1, ..., КВ5*, расположенных на этажах, разрывается. Пассажир закрывает двери шахты (замыкается контакт *ВДШ*), а также двери кабины (замыкается контакт *ВДК*). Этажный переключатель *ПЭ1* находится в среднем положении. При нажатии кнопки *КП4* включается под напряжение реле *РЭ4* по цепи: линия *Л3* — выключатель *В2* — предохранитель *Пр2* — кнопка «Стоп» (*КнС*) — контакты *ВДШ1, ..., ВДШ5* всех дверей шахты — гибкий кабель — контакт выключателя контроля натяжения канатов *ВКК* — контакт ловителя *ВЛ* — дверной контакт кабины *ВДК* — вторая кнопка «Стоп», находящаяся в кабине (*КнС1*), — гибкий кабель — обмотка реле *РЭ4* — гибкий кабель — кнопка *КП4* — гибкий кабель — размыкающий контакт контактора ускорения *КУ3* — линия *Л2* (через *Пр2* и *В2*). Реле *РЭ4* замыкает свои контакты и через *ПЭ4* включает контактор *КВ* (вверх), который подает напряжение на статор двигателя и тормозной электромагнит. Электродвигатель начинает вращаться, с выдержками времени последовательно срабатывают контакторы ускорения *КУ1, ..., КУ3*, вывода ступени пускового реостата.

При включении контактора ускорения *КУ3* его размыкающий блок-контакт разрывает цепи всех кнопок как на этажах, так и в кабине, в результате чего нажатие любой из кнопок во время движения кабины не оказывает влияния на работу лифта до остановки кабины.

Кабина, проходя второй и третий этажи, поворачивает отводные рычаги переключателей $PЭ2$ и $PЭ3$ (а в начале движения $PЭ1$), что приводит к замыканию их левых контактов и подготовке схемы к опусканию кабины вниз. Достигнув четвертого этажа, кабина своей отводкой устанавливает рычаг переключателя $PЭ4$ в среднее положение, вследствие чего контактор KB , электродвигатель, этажное реле $PЭ4$ и катушка тормозного электромагнита обесточиваются. После остановки кабины и выхода пассажира контакты пола $ВП1$ и $ВП2$ замыкаются, а дверные контакты кабины $ВДК$ остаются открытыми.

Если необходимо опустить пустую кабину с четвертого этажа на первый, то нажимается вызывная кнопка $KB1$ наружного управления, расположенная на первом этаже. При этом включается этажное реле $PЭ1$, которое своим контактом включает контактор $КН$. Происходит опускание кабины лифта и по пути отводкой этажные переключатели переводятся на замыкание правых контактов, а по достижении первого этажа отводка переводит контакты переключателя $PЭ1$ в среднее положение. Катушка контактора $КН$ обесточивается, двигатель и удерживающий электромагнит тормоза отключаются, кабина останавливается.

Одной и той же этажной вызывной кнопкой можно вызвать кабину с этажа, расположенного как выше, так и ниже заданного.

Нижний и верхний этажные переключатели $PЭ1$ и $PЭ5$ являются одновременно и концевыми выключателями, но для большей надежности работы устанавливается еще концевой выключатель $ВКА$. Цепи сигнализации о том, что кабина занята или свободна, а также цепи аварийной сигнализации на рис. 5.8 не показаны.

5.4. ТИПОВЫЕ СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЫСТРОХОДНЫМИ ЛИФТАМИ

На рис. 5.9, *а* изображена принципиальная схема управления пассажирским лифтом с двухскоростным асинхронным двигателем $АД$, имеющим короткозамкнутый ротор. Как видно из схемы, в электроприводе не предусмотрено ограничение ускорения при пуске: двигатель включается непосредственно на полное напряжение сети.

Лифтовый двигатель, имея повышенное номинальное скольжение, в период пуска развивает примерно постоянный момент (рис. 5.9, *б*), благодаря чему кабина разгоняется практически при постоянном ускорении. Точная остановка двигателя достигается путем перехода на характеристику с пониженной угловой скоростью (точка 2). Ограничение момента в генераторном режиме при переходе с высокой скорости на низшую производится введением в одну из фаз статорной цепи дополнительного сопротивления посредством размыкания контактов контактора

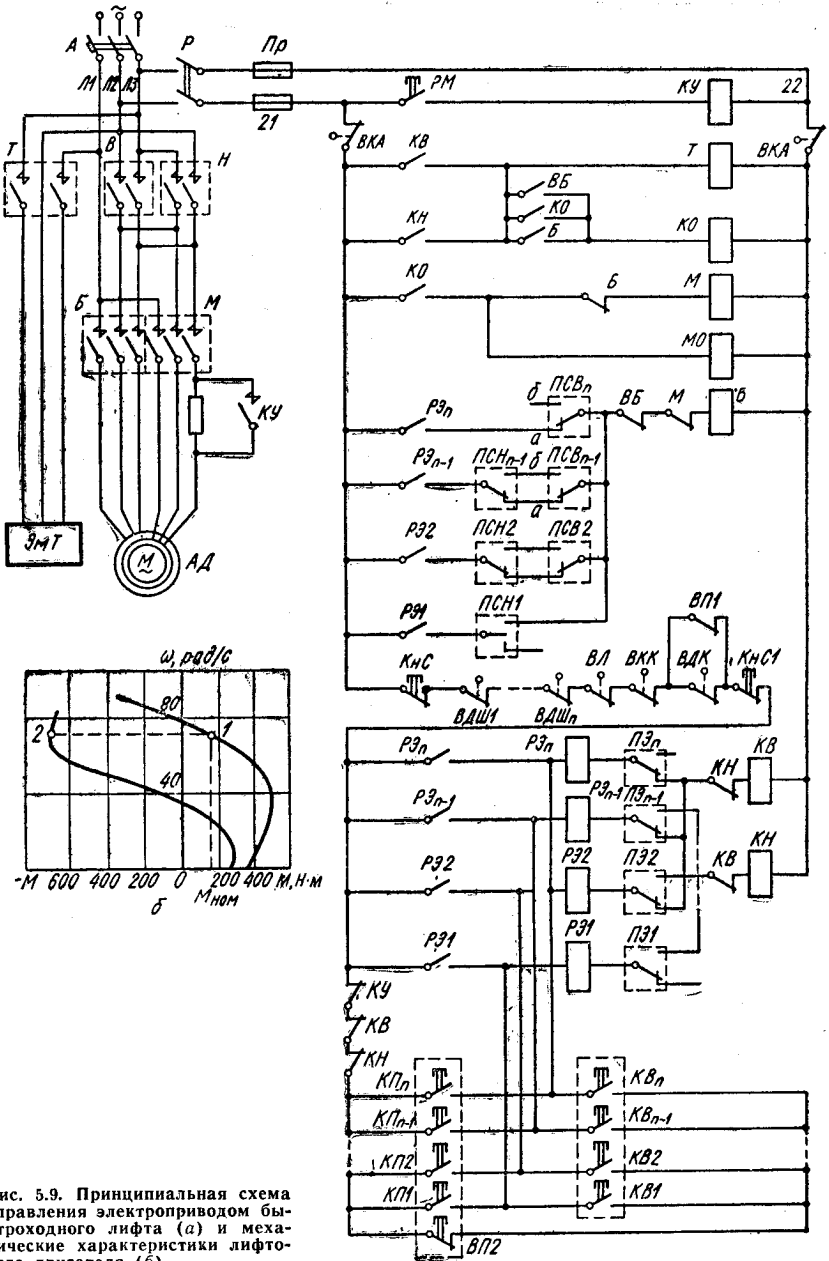


Рис. 5.9. Принципиальная схема управления электроприводом быстросходного лифта (а) и механические характеристики лифтового двигателя (б)

ускорения *КУ*. Ограничивающее сопротивление выключается при достижении кабиной низшей скорости.

Управление лифтом может осуществляться как из кабины, так и с этажных площадок с помощью вызывных кнопок *КП* и *КВ* соответственно. Помимо этажных переключателей *ПЭ* и этажных реле *РЭ*, в схеме имеются переключатели частоты вращения двигателя *ПСВ* и *ПСН*, которые устанавливаются на расстоянии 600...900 мм, равном пути замедления, выше и ниже уровня пола этажа. Для открывания замков шахтных дверей служит магнитная отводка, состоящая из катушки *МО* и контактора *КО*. Катушки тормозного электромагнита включаются посредством контактора *Т*.

Рассмотрим случай, когда кабина находится на первом этаже и в нее входит пассажир, желающий подняться на $(n-1)$ -й этаж. При нажатии кнопки *КП_{n-1}* образуется следующая электрическая цепь; линия *Л1*—разъединитель *Р*—предохранитель *Пр*—клеммник *21*—контакты концевого выключателя аварийного останова *ВКА*—контакты кнопки «Стоп» (*КНС*)—контакты дверей шахты *ВДШ1*, ..., *ВДШ_n*—размыкающие контакты ловителя *ВЛ* и устройства контроля натяжения канатов *ВКК*—контакты дверей кабины *ВДК*—кнопка «Стоп 1» (*КНС1*)—размыкающие блок-контакты контакторов ускорения *КУ* и реверсивных контакторов *КВ*, *КН*—контакты кнопки *КП_{n-1}* и катушек этажного реле *РЭ_{n-1}*—контакт этажного переключателя *ПЭ_{n-1}*—размыкающий контакт *КН*—катушка контактора *КВ*—контакты *ВКА*—клеммник *22*—предохранитель *Пр*—разъединитель *Р*—линия *Л3*.

Реле *РЭ_{n-1}* и контактор *КВ* срабатывают, при этом цепь кнопки *КП_{n-1}* шунтируется контактами реле *РЭ_{n-1}*. После включения контактора *КВ* пусковые кнопки вызова размыкающим контактом *КВ* будут отключены, что не дает возможности управления кабиной во время ее движения. Исключение составляют действия, осуществляемые кнопками «Стоп».

Срабатывание контактора *КВ* приводит также к подаче напряжения на катушку контактора тормоза *Т*, благодаря чему получается питание тормозной электромагнит *ЭМТ* и двигатель растормаживается.

После срабатывания этажного реле напряжение подается на катушку контактора быстрого движения *Б* по следующей цепи: клеммник *22*—контакты *ВКА*—катушка *Б*—размыкающий контакт контактора медленного движения *М*—выключатель большой скорости *ВБ*, используемый при ревизии и наладке электропривода,—контакты переключателя скорости *ПСВ_{n-1}* и *ПСН_{n-1}*—замыкающие контакты этажного реле *РЭ_{n-1}*—контакты *ВКА*—клеммник *21*. При включении контактора *Б* к сети подключается обмотка статора двигателя с меньшим числом полюсов (быстроходная) и двигатель разгоняется до максимальной частоты вращения. Вслед за включением этого контактора включаются контактор отводки *КО* и катушка электромагнита отводки *МО*.

При подходе кабины к $(n-1)$ -му этажу контакт $ПСН_{n-1}$ из положения a переводится в положение b , в результате чего контактор B отключается и своими размыкающими контактами включает контактор M . К сети подключается вторая обмотка статора с большим числом полюсов (тихоходная). Двигатель начинает тормозиться и работать в генераторном режиме с введенным в одну из фаз статора дополнительным сопротивлением.

После включения контактора M с выдержкой времени замыкается контакт пристроенного к нему маятникового реле времени PM ; при этом включается контактор ускорения $KУ$, а добавочное сопротивление из цепи статора выводится. Как только пол кабины достигнет уровня пола этажного перекрытия, этажный переключатель $ПЭ_{n-1}$ займет нейтральное положение, в связи с чем контакторы $KB, T, КО$ и M выключатся. Двигатель отключится и электромеханический тормоз, будучи обесточенным, зажмет колдки. Произойдет механическое торможение электропривода.

После останова кабины сердечник электромагнитной отводки в результате выключения контактора $КО$ и электромагнита отводки $МО$ своим выступом упирается в замок шахтной двери соответствующего этажа, позволяя пассажиру открыть ее.

Предусмотренные в схеме кнопки вызова $KB1, \dots, KB_n$, установленные на этажах, могут подавать сигнал на вызов кабины лишь в случае замыкания контактов пола $ВП1$ и $ВП2$, т. е. когда кабина свободна. Аналогично работает схема при спуске кабины.

В рассмотренной схеме процесс закрывания и открывания дверей не автоматизирован и осуществляется вручную, причем прием пассажиров по пути следования кабины невозможен. К настоящему времени разработаны и уже используются схемы управления, которые, не имея этих недостатков, позволяют повысить комфортабельность и производительность лифтов.

Ввиду ограниченных возможностей асинхронных двигателей электропривод быстроходных лифтов осуществляется в основном регулируемыи двигателями постоянного тока с автономными преобразователями: машинными и тиристорными. Системы Г—Д и ТП—Д дают возможность обеспечить выполнение весьма жестких требований, предъявляемых к электроприводу лифтов в отношении точности остановки и ускорений во время переходных процессов.

Схемы управления электроприводом быстроходных лифтов строятся по рассмотренным выше принципам с выделением узлов безопасности пользования и обслуживания, узлов вызовов и приказов, узлов точной остановки т. д. Поэтому в дальнейшем будем рассматривать только принципиальные отличия используемых схем.

В настоящее время в схемах управления быстроходными лифтами широко применяются силовые МУ, которые просты в эксплуатации, высоконадежны и имеют стабильные характеристики. Принципиальная схема управления электроприводом быстроход-

ного лифта с применением силового МУ показана на рис. 5.10.

Обмотка возбуждения генератора *ОВГ* получает питание непосредственно от МУ, который имеет следующие обмотки управления: задающую *ОЗ*, контроля ускорения и рывка *ОКУР*, о. с. по скорости *ОКС*. Питание обмотки *ОКУР* осуществляется от двух трансформаторов: напряжения *ТН* и тока *ТТ*. Если падением напряжения в якорной цепи двигателя пренебречь, то можно считать, что м. д. с. обмотки *ОКУР* от *ТН* пропорциональна первой производной угловой скорости двигателя во времени или ускорению, в то время как м. д. с. от *ТТ* пропорциональна второй производной скорости по времени, т. е. рывку. Обмотка *ОКС* включена в схему тахометрического моста, и напряжение на ней примерно пропорционально частоте вращения двигателя *М*. При нарушении нормального режима работы лифта сочетание действия указанных обмоток с действием задающей обмотки МУ ликвидирует опасное нарушение и сохраняет заданный закон движения лифта.

Все схемы управления быстроходными пассажирскими лифтами имеют узел точной остановки (рис. 5.11), который содержит: датчики точной остановки кабины при ее движении вверх и вниз (*ДТВ* и *ДТН*), два реле импульса точной остановки (*РИТВ* и *РИТН*), реле точной остановки (*РТО*). В цепь датчиков точной остановки включена обмотка управления *ОКУП* усилителя электропривода, контролирующая положение кабины. Обмотка *ОКУП* включается размыкающими контактами *РТО* при подходе кабины к заданному этажу; при этом одновременно *РТО* отключает

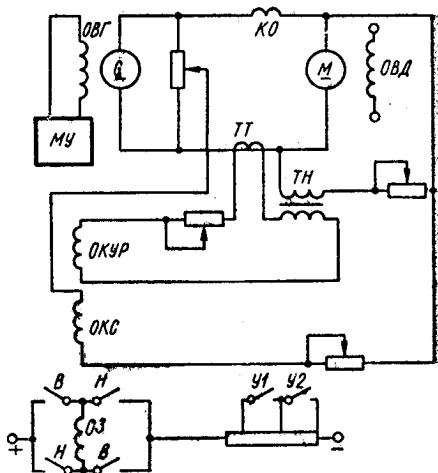


Рис. 5.10. Принципиальная схема управления электроприводом быстроходного лифта с применением силового МУ

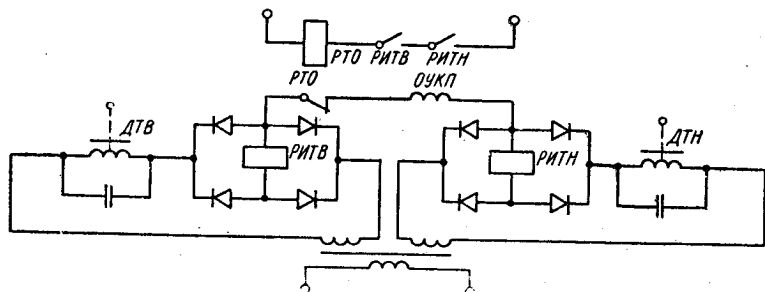


Рис. 5.11. Принципиальная схема узла точной остановки быстроходного пассажирского лифта

ет задающую обмотку *ОЗ* (см. рис. 5.10). Датчики точной остановки монтируются на кабине, а замыкающие их скобы — у этажных площадок в шахте.

Когда кабина приближается к заданному этажу, магнитный шунт замыкает магнитную систему одного из датчиков точной остановки в зависимости от направления движения, что обеспечивает снижение тока в цепи датчика и в катушке реле *РИТВ* или *РИТН*, а также изменение силы и направления тока, подаваемого реле *РТО* в обмотку *ОКП*.

После замыкания магнитной системы одного из датчиков возникает разность потенциалов между точками 1 и 2 и появляется ток в *ОКП*, обеспечивающий продолжение движения кабины к заданному этажу. Как только магнитные системы обоих датчиков будут зашунтированы, напряжение между точками 1 и 2 станет равным нулю, *ОКП* обесточится и произойдет остановка двигателя электропривода лифта. Если кабина пройдет немного дальше и магнитная система второго датчика разомкнется, то ток в обмотке *ОКП* изменит свое направление, что вызовет движение кабины в обратном направлении до тех пор, пока магнитные системы обоих датчиков не будут зашунтированы. После остановки кабины срабатывает электромеханический тормоз.

На рис. 5.12 изображена упрощенная принципиальная схема электропривода пассажирского лифта с тиристорным преобразователем. Якорь двигателя постоянного тока независимого возбуждения питается от реверсивного тиристорного преобразователя, имеющего два комплекта тиристорных *ТПВ* и *ТПН*, включенных по трехфазной мостовой схеме. Управление комплектами тиристорных совместное. Для ограничения уравнивающих токов служат реакторы *ТОР1*, *ТОР1'*, *ТОР2* и *ТОР2'*.

Система регулирования скорости привода — замкнутая с отрицательной о. с. по скорости от тахогенератора *ТГ*. Для ограничения в переходных режимах тока якоря и момента двигателя, определяющих ускорение кабины и первой производной от ускорения — рывка, используются о. с. по току. Сигналы, пропорциональные току якоря, снимаются с шунтом *Ш1*, *Ш2* и поступают в систему управления приводом.

В схеме электропривода предусмотрены: защита от коротких замыканий — автоматами *АВ1* и *АВ2*, защита от перегрузок — максимально-токовым реле *РМ* и тепловым реле *РТ*, нулевая защита — реле *РН*, а также контроль силы и скорости нарастания тока якоря — реле *РКТ*. При аварийных режимах, когда срабатывает нулевая защита (вследствие чего отпадает контактор *КЛ*) или отключаются автоматы *АВ1*, *АВ2*, происходит динамическое торможение двигателя, при котором его якорь замыкается на сопротивление резистора *Рт*.

Существенными недостатками систем электропривода лифтов с релейно-контакторными элементами являются низкая надежность, относительно малое быстродействие, значительный шум при работе, повышенные эксплуатационные расходы на регули-

остановки и позволяет сравнительно точно сформировать оптимальную кривую скорости в переходных режимах пуска и торможения кабины. С электрическими схемами таких лифтовых установок подробно можно ознакомиться в специальной литературе [11, 15, 30].

5.5. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВКАХ

Шахтной подъемной установкой называется вертикальный подъемник периодического действия, в котором перемещение грузов или людей с одного горизонта шахты на другой производится в подъемных сосудах (клетях, скипах), движущихся по направляющим, установленным в стволе шахты. Различают *скиповые* подъемные установки, в которых производится лишь подъем грузов, и *клетевые* подъемные установки, которые выполняют подъем и спуск людей, грузов, машин и механизмов, а также различные вспомогательные операции. В клетях, как правило, могут размещаться вагонетки, предназначенные для транспортирования грузов по шахтным выработкам.

Подъемная машина является одной из наиболее важных и ответственных установок на шахте. От нее требуются высокая производительность, надежность в работе, долговечность и простота в обслуживании. Кроме того, она должна быть экономичной как по капитальным затратам, так и в период эксплуатации.

Кинематическая схема шахтной подъемной установки показана на рис. 5.13. Такие установки обычно выполняются с двумя подъемными сосудами, один из которых поднимает груз, а другой опускается порожним. Подъемный барабан 1 приводится во вращение электродвигателем, размещенным в машинном зале подъемной установки. Головные канаты 2 проходят через направляющие шкивы 3, расположенные на копре шахты, и закрепляются на подъемных сосудах 4 и 6, которые движутся вдоль направляющих в стволе шахты. Для выравнивания нагрузки электропривода подъемная установка выполняется с хвостовым уравновешивающим канатом 5, который по своей конструкции может быть плоским либо круглым; в последнем случае внизу располагается направляющий шкив.

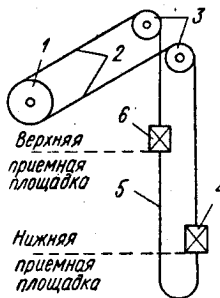


Рис. 5.13. Кинематическая схема шахтной подъемной установки

В скиповых подъемных установках на верхней приемной площадке устраиваются специальные разгрузочные кривые, в которые входят направляющие ролики, расположенные на подъемном сосуде. Благодаря такому устройству осуществляется поворот скипа относительно несущей рамы, его опрокидывание и разгрузка. Следует отметить, что рабочие операции подъемной установки повторяются с соответствующим изменением направления движения подъемных сосудов, которое обеспечивается электроприводом.

Существуют и другие кинематические схемы подъемных шахтных установок, а именно: со шкивами трения (вместо барабанов), с барабанами переменного радиуса навивки, многоканатные и др. В многоканатных подъемных машинах, получивших широкое распространение, имеется башенный копер, в самом верхнем этаже которого располагается машинное отделение с электроприводом и несколькими шкивами трения (по количеству канатов).

Шахтные подъемные установки являются установками программного управления. В основу построения цикла подъема положена расчетная тахограмма, задаваемая автоматическим регулятором или машинистом (с определенной степенью точности). Вид и количество периодов расчетной тахограммы определяются заданными технологическими свойствами подъема. Диаграмма скорости, по существу, является критерием производительности и экономичности подъема.

На рис. 5.14 изображена стандартная шестипериодная расчетная тахограмма, широко применяемая в условиях автоматизированного грузового подъема. В течение первого периода t_1 происходит выход опускающегося скипа из разгрузочных кривых. Скорость в точке 1 не должна превышать 1,5 м/с. На участках t_2 при разгоне и t_4 при торможении ускорение должно быть не более 1 м/с². На участке t_3 скипы движутся с постоянной (установившейся) скоростью. После процесса торможения, который заканчивается в точке 4, где скорость входа в разгрузочные кривые составляет не более 1,5 м/с, начинается небольшой участок t_5 движения с постоянной пониженной скоростью (дотягивание скипа). На участке t_6 осуществляется процесс остановки скипов.

В период равномерного движения t_5 (период дотягивания) система должна иметь пониженную ползучую скорость движения $0,5 \pm 0,1$ м/с, чтобы вход и движение подъемного скипа в разгрузочных кривых были плавными, а остановка — точной. В период стопорения t_6 поднимаемый скип должен быть остановлен (под разгрузку) в заданной точке пути с точностью ± 20 см.

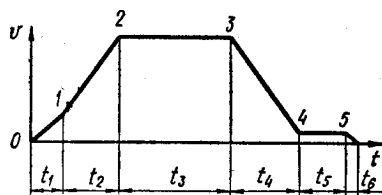


Рис. 5.14. Шестипериодная расчетная тахограмма скорости автоматизированного грузового подъема

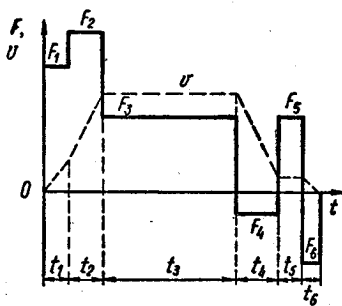


Рис. 5.15. Нагрузочная диаграмма $F = f_1(t)$ шахтной подъемной машины

Таким образом, задавая допустимыми скоростями и ускорениями на определенных участках движения поднимаемого скипа, можно построить диаграмму скорости для любой шахтной подъемной установки, а затем перейти к построению нагрузочной диаграммы (диаграммы движущих сил или диаграммы моментов) и выбору системы электропривода, его схемы и аппаратов управления.

На рис. 5.15 показана нагрузочная диаграмма $F=f_1(t)$ подъемной машины для шестипериодной диаграммы скорости $v=f_2(t)$. В периоды замедления t_4 и t_6 имеет место тормозной режим (отрицательные движущие силы F_4 и F_6).

Позволяя судить о режимах работы подъемной установки в различные периоды, нагрузочная диаграмма является основой для определения мощности электропривода.

5.6. СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ МАШИН

Электрическое оборудование подъемных установок должно отличаться высокой надежностью, безопасностью и экономичностью в работе. Электропривод подъемной машины должен иметь высокие перегрузочные свойства и возможность регулирования скорости в широких пределах. Всем этим требованиям в основном удовлетворяют два вида привода: асинхронный с двигателем, имеющим фазный ротор, и система Г—Д с различными схемами возбуждения генератора.

В угольной промышленности подъемные установки оборудованы главным образом асинхронным электроприводом и лишь несколько десятков подъемных машин имеют электропривод постоянного тока по системе Г—Д.

Асинхронный электропривод в однодвигательном исполнении применяется, как правило, при мощности до 1000 кВт, а в двухдвигательном — до 2500 кВт. Приводом постоянного тока по системе Г—Д обычно оборудуются подъемные установки мощностью более 1000 кВт. Система Г—Д получила особенно широкое распространение на рудных шахтах, где устанавливаются подъемные машины большой производительности и требуется их высокая маневренность из-за наличия нескольких горизонтов добычи. При работе на постоянном токе сравнение одно- и двухдвигательного приводов по расходу электроэнергии показывает, что оба они имеют практически одинаковые показатели, но стоимость двухдвигательного электропривода примерно на 40% выше стоимости однодвигательного.

Для привода шахтных подъемных машин выпускаются быстро- и тихоходные двигатели постоянного тока различной мощности. Максимальная мощность первых достигает 2000 кВт, вторых — 4000 кВт.

Безредукторный привод по системе Г—Д с тихоходным двигателем постоянного тока (25...40 об/мин) начал применяться

в шахтных подъемных установках с 1950 г. В настоящее время таким электроприводом оборудован ряд крупнейших одноканатных барабанных подъемных установок и в меньшем количестве — многоканатных. Результаты технико-экономического сравнения редукторного и безредукторного приводов показывают, что безредукторный привод более экономичен (больше к. п. д., меньше пусковой момент и время разгона, выше производительность подъема).

Совершенствование качества и повышение мощности тиристоров позволили использовать их в цепях возбуждения мощных машин постоянного тока и дадут возможность в ближайшее время шире применить в электроприводе шахтных подъемных машин систему ТП—Д.

Мощность приводного двигателя шахтной подъемной машины, как и любого другого электрического двигателя, определяется по эквивалентному моменту или усилию. Для нахождения эквивалентного момента необходимо построить нагрузочную диаграмму моментов или движущих сил для одного полного цикла подъема (см. рис. 5.15). Построение такой диаграммы требует специальных расчетов. Однако для целей выбора системы электропривода можно воспользоваться определением P (кВт) приводного двигателя по упрощенной формуле

$$P = \frac{QHk\rho}{102\eta_n T}, \quad (5.1)$$

где Q — масса полезного поднимаемого груза, кг; H — высота подъема, м; k — коэффициент вредных сопротивлений (обычно $k = 1,15$); ρ — характеристика динамического режима (обычно $\rho = 1, 2 \dots 1,4$, убывая с ростом H); η_n — к. п. д. передаточного механизма; T — полный период одного подъема (включая паузу), с. Иногда в эту формулу вводят коэффициент запаса $k_s = 1, 1 \dots 1,2$.

Удельный расход электроэнергии a на подъем полезного груза составляет для вертикальных подъемных установок $7,5 \dots 6,5$ кВт·ч / (т·км) (при $H = 200 \dots 300$ м) или $5,5 \dots 5$ кВт·ч / (т·км) (при $H = 500 \dots 700$ м). Расход электроэнергии $a_{ш}$ (кВт·ч / т) на подъем одной тонны полезного ископаемого в шахте

$$a_{ш} = aH. \quad (5.2)$$

Суточный расход электроэнергии (кВт·ч)

$$A_{э.ш} = a_{ш}Q_{с.ш} = aQ_{э.ш}H, \quad (5.3)$$

где $Q_{с.ш}$ — суточная производительность шахты, т.

Автоматизация шахтных подъемных установок является весьма ответственной задачей. Она диктуется стремлением к увеличению производительности подъемной машины, а также необходимостью освобождения машинистов от очень напряженного труда. При автоматизации заданную диаграмму скорости пол-

чающего вращение от вала приводного двигателя *ПД*. Заданная скорость пропорциональна напряжению, снимаемому с потенциометра *РС*. Закон изменения этого напряжения в функции пройденного пути определяется профилем кулачков ретардирующего профильного диска *РД*, установленного на указателе глубины и связанного с валом приводного двигателя.

Действительная и заданная скорости сравниваются между собой в элементе сравнения, роль которого играет электромашинный усилитель *ЭМУ*. Его обмотка управления *ОУ1* подключена к тахогенератору. М. д. с. этой обмотки определяется, следовательно, действительной скоростью подъема. Обмотка *ОУ2* подключена к потенциометру *РС* и ее м. д. с. пропорциональна заданной скорости подъема. Магнитные потоки, создаваемые обмотками управления, направлены встречно. При равенстве действительной и заданной скоростей результирующий магнитный поток равен нулю. В этом случае выходные напряжение и ток тоже равны нулю.

При превышении фактической скоростью заданного значения м. д. с. обмотки *ОУ1* станет больше м. д. с. обмотки *ОУ2*, в результате чего возникнет ток в цепи якоря генератора динамического торможения *ГДТ*. Этот ток, протекая по обмоткам статора приводного двигателя *ПД*, вызовет появление у последнего тормозного момента, что приведет к замедлению электропривода и, следовательно, к уменьшению разницы между действительной и заданной скоростями подъема.

Схема позволяет регулировать скорость электропривода только в том случае, когда действительная скорость подъема превышает заданную. При этом полярность э. д. с. *ЭМУ* соответствует проводящему направлению вентиля *Д*. Если бы этот вентиль отсутствовал, то в цепи якоря *ГДТ* протекал бы ток и тогда, когда действительная скорость была бы меньше заданной. Однако такое явление не допустимо, так как при этом появился бы тормозной момент двигателя *ПД*, что привело бы к дальнейшему уменьшению скорости подъема и, следовательно, к еще большему увеличению разницы между действительной и заданной скоростями.

Отметим, что режим динамического торможения приводного асинхронного двигателя можно осуществлять и с помощью тиристорного выпрямителя.

В период замедления отклонение фактического значения скорости подъема от заданного может принимать как отрицательное, так и положительное значения, т. е. действительная скорость может быть соответственно выше или ниже заданной. При этом режим замедления может быть тормозным, двигательным или нейтральным (при свободном выбеге) в зависимости от значения заданного замедления. В тормозном режиме замедления регулятор должен выполнять заданную программу с точностью, исключая срабатывание защитных устройств.

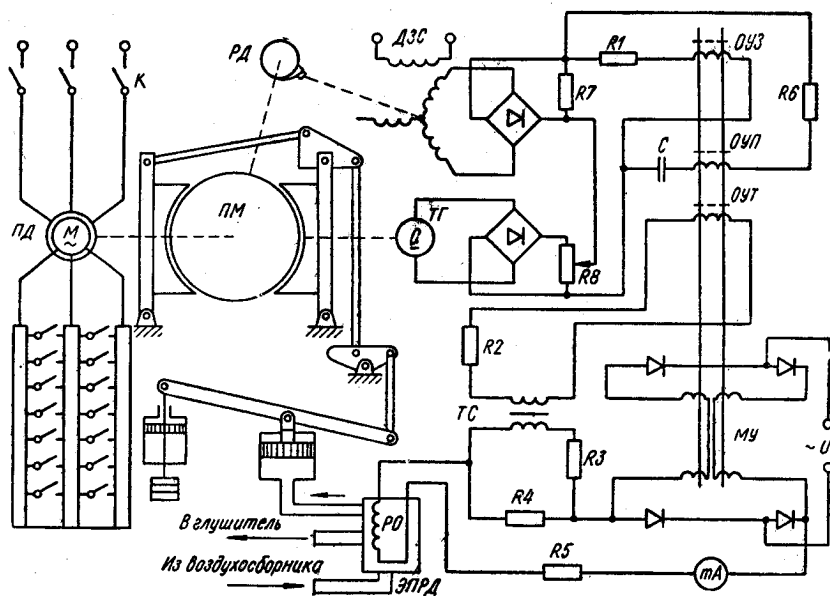


Рис. 5.17. Упрощенная принципиальная схема асинхронного электропривода подъемной машины с применением электропневматического регулятора давления и механического торможения.

В последнее время широкое распространение в проектах новых подъемных установок получило автоматическое управление приводным асинхронным двигателем с использованием механического торможения в период замедления. Этот способ управления, отличаясь простотой и надежностью, позволяет также реализовать как двигательные, так и тормозные регулирующие воздействия.

Механическое торможение подъемной машины используется в основном для контроля выполнения заданной тахограммы при замедлении на свободном выбеге или при нерегулируемом динамическом торможении, а также при дотягивании. Для реализации регулируемого механического торможения применяются электропневматические регуляторы давления.

На рис. 5.17 показана упрощенная принципиальная схема асинхронного электропривода подъемной машины с применением такого регулятора давления. Катушка управления РО регулятора давления ЭПРД включается на узел сравнения действительной и заданной скоростей, представляющих собой МУ с несколькими обмотками управления (ОУЗ, ОУП, ОУТ). Сигналы заданной скорости поступают от профильного диска РД через датчик скорости ДЗС, а сигналы действительной скорости — от тахогенератора ТГ, установленного на валу подъемной машины ПМ. Для улучшения работы привода введены гибкая отрицательная о. с. посредством стабилизирующего трансформатора ТС, а также воз-

действие по первой производной от сигнала управления с помощью цепочки RC (в цепи обмотки $ОУП$).

В период замедления свободного выбега подтормаживание производится с использованием безпружинного регулятора давления $ЭПРД$ (с вертикальным расположением золотника). Обмотка $РО$ регулятора включена на выход $МУ$.

Для привода шахтной подъемной машины разработана также схема регулирования скорости асинхронного двигателя в период дотягивания и замедления, содержащая преобразователь частоты (рис. 5.18). При торможении машины подъемный двигатель $ПД$ отключается от питающей сети и контактором $K2$ подкачивается к машинному преобразователю, который вырабатывает напряжение частотой $1,5 \dots 6$ Гц. Преобразователь состоит из синхронного генератора $ГС$, приводимого во вращение асинхронным двигателем $АД$. Возбуждение генератора осуществляется от тиристорного преобразователя $ТП$ с возможностью форсирования возбуждения при тяжелых режимах работы посредством контактора $КФ$. Вместо машинного преобразователя можно использовать статический. В процессе замедления асинхронный двигатель работает в режиме рекуперативного торможения.

Основное достоинство этой схемы состоит в том, что переход из режима замедления на режим дотягивания, при котором

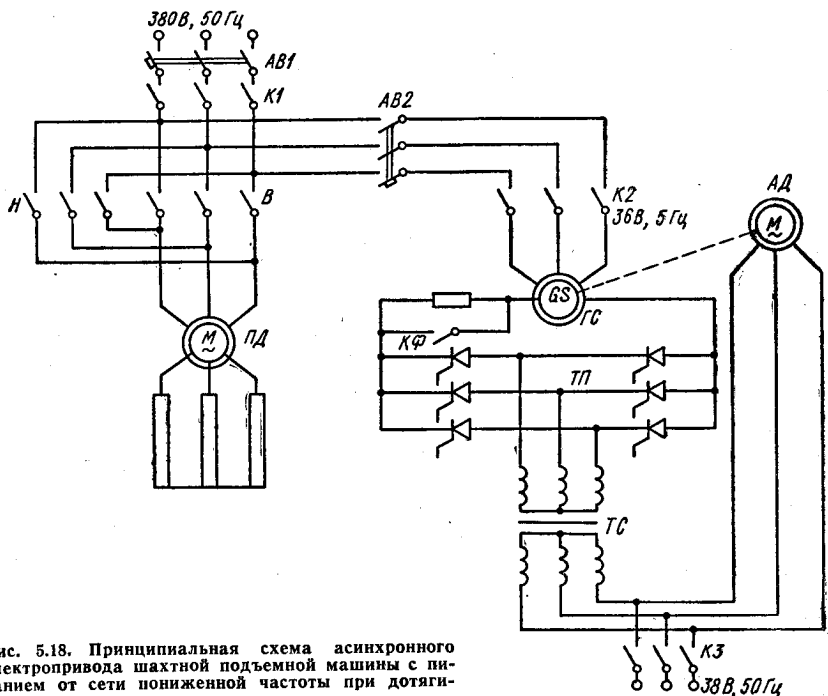


Рис. 5.18. Принципиальная схема асинхронного электропривода шахтной подъемной машины с питанием от сети пониженной частоты при дотягивании

асинхронная машина должна работать двигателем, происходит автоматически на одной механической характеристике двигателя. Более подробно с аналогичными схемами можно ознакомиться в специальной литературе [30, 33, 44].

Подъемные машины с приводом от асинхронного двигателя с фазным ротором снабжаются реверсорами (типа РВМ) для дистанционного включения, отключения и реверсирования двигателя с напряжением питания 6 кВ. Конструктивно они представляют собой металлический шкаф, в котором смонтированы три контактора с магнитным гашением дуги. Два из этих контакторов служат для реверсирования двигателя, а третий — для подачи постоянного тока при динамическом торможении или тока низкой частоты при автоматическом режиме работы.

5.8. ПОДЪЕМНАЯ УСТАНОВКА С ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПО СИСТЕМЕ Г—Д

Высокие эксплуатационные качества электропривода по системе Г—Д, такие как плавное и экономичное регулирование скорости приводного двигателя в широких пределах, простота управления и возможность полной автоматизации процесса подъема менее сложными средствами, чем при асинхронном приводе, являются решающими факторами при выборе мощного привода подъемной машины для глубоких шахт с большой производительностью.

В шахтных подъемных установках применяется несколько вариантов возбуждения системы Г—Д: с обычным возбудителем, электромашинным усилителем, силовым МУ и, наконец, с тиристорным возбудителем. Ознакомимся здесь кратко с принципиальной схемой автоматизированного электропривода по системе Г—Д с силовыми МУ (рис. 5.19).

Как известно, управление частотой вращения приводного двигателя осуществляется изменением напряжения генератора за счет изменения его тока возбуждения. Питание обмотки возбуждения генератора *ОВГ1* производится от двух силовых трехфазных МУ (*СМУ1* и *СМУ2*), включенных по мостовой схеме. Нагрузкой для них служит равноплечий мост, состоящий из двух одинаковых ветвей *ОВГ1* и двух балластных резисторов. Каждая ветвь должна обеспечить 50% ампер-витков, необходимых для создания рабочего магнитного потока генератора. Для уменьшения мощности МУ на напряжение генератора включена вторая обмотка возбуждения *ОВГ2*, которая создает также положительную о. с. по напряжению.

Обмотки управления силовых МУ питаются от промежуточных МУ (*ПМУ1* и *ПМУ2*), имеющих следующие обмотки управления: *ОЗ* — задающую, *ОС* — о. с. по скорости, *ОТ* — токовой отсечки, *ОСН* — стабилизации по напряжению генератора, *ОСТ* — стабилизации по току в якорной цепи. Обмотки стабилизации повышают точность выполнения заданной диаграммы ско-

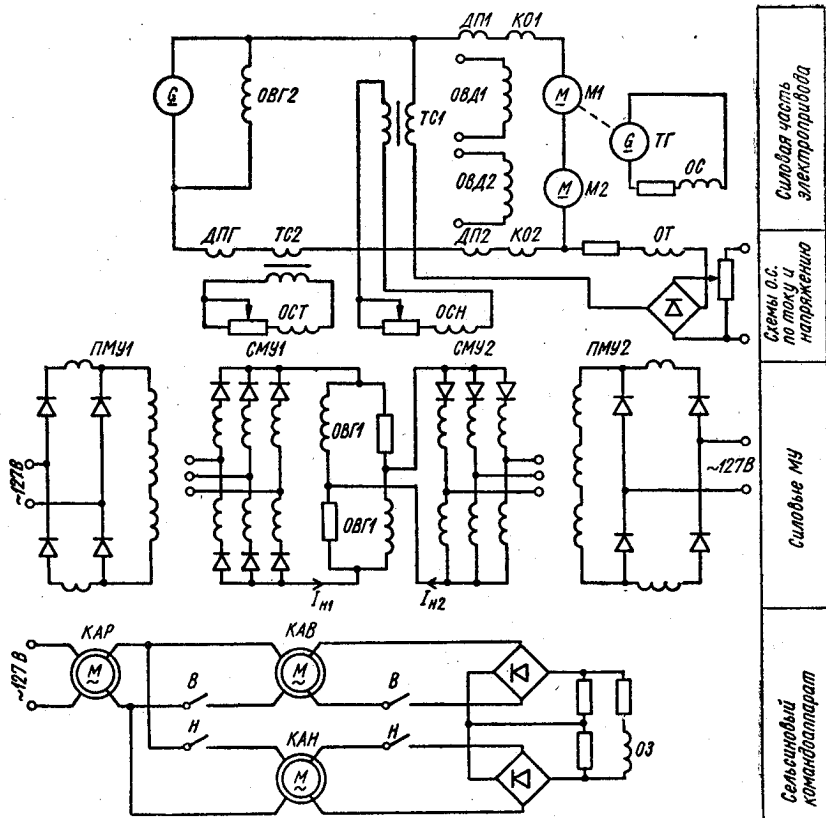


Рис. 5.19. Принципиальная схема электропривода шaftной подъемной установки по системе Г—Д с силовыми МУ

рости и обеспечивают устойчивую работу системы. К недостаткам данной схемы относятся значительная инерционность и низкий коэффициент использования усилителей.

Контроль за выполнением диаграммы скорости при установившемся движении, а также при разбеге и торможении осуществляется обмотками управления $OЗ$ и $OС$ промежуточных МУ. Задающая обмотка $OЗ$ включена в цепь бесконтактных сельсинных командоаппаратов KAB и KAH , которые приводятся во вращение от профилированных дисков ретардирующего устройства, связанных через редуктор с валом подъемной машины.

Профили дисков рассчитываются таким образом, чтобы в каждой точке пути движения поднимаемых сосудов обеспечивалось заданное напряжение, определяющее необходимую для данной точки скорость. Закон изменения задающего напряжения обуславливает в конечном счете необходимую диаграмму скорости сосудов.

При движении в условном направлении «вперед» напряжение на задающую обмотку *ОЗ* подается от сельсинного командоаппарата *КАВ*. При разгоне системы угол поворота ротора *КАВ* увеличивается, что приводит к росту задающего напряжения, подаваемого на обмотку *ОЗ*. В конце процесса разгона это напряжение соответствует установившейся скорости поднимаемых сосудов. По окончании процесса разгона специальная электромагнитная муфта отключает ретардирующие диски от вала подъемной машины, поэтому в установившемся режиме задающее напряжение остается постоянным.

В начале процесса торможения, когда система управления получает импульс на замедление, электромагнитная муфта вновь подключает ретардирующие диски к валу подъемной машины и далее при замедлении угол поворота *КАВ* уменьшается. При этом соответствующий профиль ретардирующего диска обеспечивает закон изменения задающего напряжения, определяющего необходимую диаграмму скорости при замедлении поднимаемых сосудов.

При разгоне системы диски поворачиваются примерно на пол-оборота, увеличивая угол поворота ротора сельсина от 0 до 60°, а при замедлении — еще примерно на пол-оборота, уменьшая угол поворота сельсина от 60° до 0.

Командоаппарат *КАН* управляет системой электропривода при движении сосудов в условном направлении «назад» аналогично действию аппарата *КАВ*. Сельсины в рассмотренных командоаппаратах работают в трансформаторных режимах. Входные обмотки *КАВ* или *КАН* через контакты *В* или *Н* подсоединены к выходным обмоткам сельсинного аппарата *КАР*, как показано на рис. 5.19. *КАР* служит для ручного управления подъемной машиной. Ротор *КАР* через передачу связан с рукояткой управления, выведенной на пульт машиниста (оператора). При работе подъемной машины в автоматическом режиме ротор командоаппарата *КАР* повернут на максимальный угол, что определяет подачу на входные обмотки *КАВ* или *КАН* максимального напряжения.

Когда необходимо осуществить ручной режим работы подъемной машины, ротор *КАР* устанавливают в положение, соответствующее нулевому напряжению на его выходе. При повороте рукоятки управления, связанной с *КАР*, машинист увеличивает напряжение на выходе *КАР*, а значит, и на выходе *КАВ* или *КАН*, управляя тем самым работой подъемной машины.

О. с. по скорости в данной схеме осуществляется посредством обмотки *ОС*, напряжение на выходе которой пропорционально частоте вращения двигателя. При отклонении скорости поднимаемых сосудов от заданной появляется дополнительная разность м. д. с. обмоток *ОЗ* и *ОС*, которая через *МУ* и *ПМУ* оказывает регулирующее воздействие на возбуждение генератора, а следовательно, и на частоту вращения двигателя. Смена направления вращения двигателя производится изменением направления тока в задающей обмотке *ОЗ*.

5.9. ПРИМЕНЕНИЕ ТИРИСТОРОВ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК

Использование полупроводниковых (тиристорных) преобразовательных устройств позволяет не только повысить энергетические показатели электропривода, но и значительно улучшить регулировочные и электромеханические характеристики, а также надежность его работы. Тиристорные преобразователи в настоящее время являются основой технического прогресса современного промышленного автоматизированного электропривода. Они повсеместно вытесняют в системах регулируемого привода электромагнитные и ионные преобразователи, в том числе электромашинные и магнитные усилители.

К. п. д. тиристорного электропривода постоянного тока на 5...7% выше к. п. д. системы Г—Д, на 2...4% больше к. п. д. ионного электропривода и примерно на 2% выше к. п. д. привода с МУ. Кроме того, тиристорный электропривод обладает рядом других технических преимуществ. Так, тиристорный преобразователь имеет большой коэффициент усиления (свыше 100 000), чем ионный выпрямитель или МУ, меньшее падение напряжения, малые габаритные размеры и массу. Схема тиристорного электропривода довольно гибкая: он может быть реверсивным и нереверсивным, позволяя работать при малых и больших мощностях с небольшой продолжительностью переходных процессов (практически время переходного режима определяется инерционностью приводного электродвигателя).

В электроприводе шахтных подъемных установок тиристорный выпрямитель может применяться либо в качестве возбудителя генератора системы Г—Д, либо в качестве преобразователя для питания приводного электродвигателя в системе ТП—Д.

На рис. 5.20 изображена принципиальная схема реверсивного тиристорного возбудителя для питания обмотки возбуждения генератора в системе Г—Д. Силовая часть этого преобразователя состоит из двух трехфазных выпрямительных мостов (ТП1 и ТП2). В цепь выпрямленного тока каждого моста включены дроссели $Dp1$ и $Dp2$, ограничивающие уравнивающие токи, которые возникают во внутренних цепях преобразователя при согласованном управлении. Трехфазные выпрямители питаются от одного трансформатора с напряжением вторичной обмотки 380, 220 или 127 В. В цепь нагрузки преобразователя включены обмотка возбуждения $ОВГ$ и балластный резистор R_b . Схема управления тиристорным преобразователем включает в себя ряд о. с. по току, напряжению и скорости, аналогично схеме электропривода с МУ (см. рис. 5.19).

На рис. 5.21 показана принципиальная схема реверсивного электропривода системы ТП—Д с двумя тиристорными преобразователями, собранными по мостовой схеме. Дроссель Dp в якорной цепи двигателя ограничивает пульсации выпрямленного

тока, что дает возможность уменьшить потери и улучшить коммутацию двигателя. Уравнительный реактор $УР$ служит для ограничения уравнительного тока, возникающего вследствие неравенства мгновенных значений напряжений обоих преобразователей.

Регулирование выпрямленного напряжения преобразователей осуществляется с помощью полупроводниковой системы импульсно-фазового управления ($СИФУ$), условно изображенной на схеме в виде прямоугольника. Эта система управляет открыванием и запирающим тиристоров через управляющие электроды.

Следует заметить, что разработан ряд других схем питания и реверсирования приводного двигателя от тиристорных преобразователей. Так, например, известна схема с одним преобразователем и реверсивным переключателем в цепи якоря или в цепи возбуждения двигателя. Выбор силовой схемы электропривода определяется в основном технологическими особенностями работы подъемных машин и допустимыми отклонениями скорости от заданной, возникающими в процессе реверса.

Надо также иметь в виду, что системе электропривода ТП—Д по сравнению с широко применяемой системой Г—Д присущ ряд особенностей, связанных с ее схемным построением, пульсирующим характером выпрямленного напряжения, практически безынерционной связью между питающей сетью и цепью выпрямленного напряжения. Эти особенности обычно учитываются при проектировании электропривода.

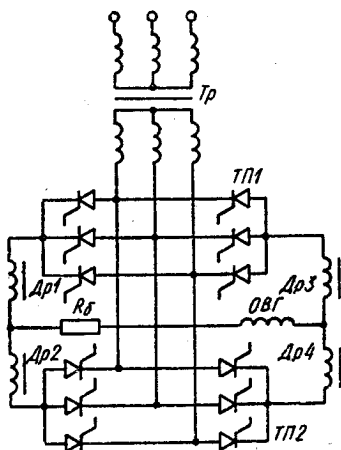


Рис. 5.20. Принципиальная схема реверсивного тиристорного возбудителя для питания обмотки возбуждения генератора в системе Г—Д

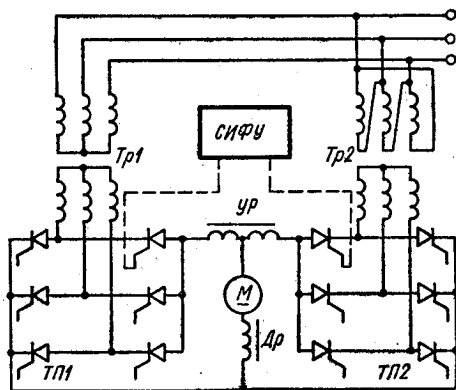


Рис. 5.21. Принципиальная схема реверсивного электропривода системы ТП—Д для шахтной подъемной установки

5.10. СИСТЕМЫ ПОДЧИНЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НА БАЗЕ УБСР

К электроприводу лифтов и шахтных подъемных машин предъявляются повышенные требования, касающиеся строгого выполнения законов управления, в частности диаграммы скорости, повышения точности его работы, упрощения наладки и эксплуатации. В последнее время выполнение этих требований успешно осуществляется путем унификации элементов управления с помощью унифицированной блочной системы регуляторов (УБСР), называемой *многоконтурной системой подчиненного регулирования*. УБСР используется для управления электроприводами постоянного тока в тех случаях, когда требуется широкий диапазон регулирования скорости, обеспечение режимов разгона и торможения с определенной интенсивностью, обеспечение режима поддержания заданной скорости с высокой точностью, ограничение токов электродвигателя и т. д. Кроме электропривода подъемников, эта система широко применяется в электроприводе прокатных станов, экскаваторов и некоторых других установок.

УБСР имеет несколько модификаций: *аналоговую*, выполняемую на обычных элементах электроники (УБСР-А) и на интегральных микросхемах (УБСР-АИ), и *дискретную* на логических элементах (УБСР-Д) и на интегральных микросхемах (УБСР-ДИ). Регулирование по нескольким параметрам (например, по скорости, ускорению, току или э. д. с. двигателя, по положению механизма и т. п.) осуществляется параллельным введением сигналов в многоконтурную систему подчиненного регулирования с несколькими каскадно-включенными регуляторами. Один из регулируемых параметров в таких системах является основным, а остальные сигналы датчиков контролируемых (регулируемых) параметров вводятся на входы соответствующих, включенных каскадно, регуляторов. Количество регуляторов соответствует числу регулируемых параметров, зависящему от количества контуров регулирования.

На рис. 5.22 изображена структурная схема простейшей двухконтурной системы подчиненного регулирования тиристорного электропривода постоянного тока. Двигатель M получает питание от тиристорного преобразователя $ТП$. Частота вращения двигателя контролируется тахогенератором $ТГ$, а ток якоря — датчиком тока $ДТ$. Задающий сигнал x_3 поступает от бесконтактного

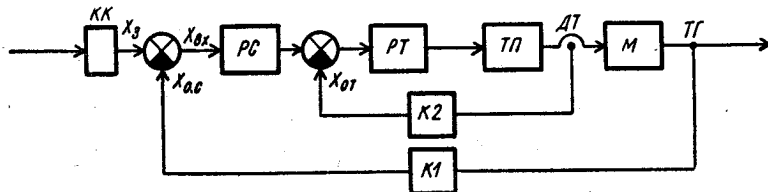


Рис. 5.22. Структурная схема простейшей двухконтурной системы подчиненного регулирования тиристорного электропривода постоянного тока

командоконтроллера KK и суммируется с сигналом о. с. по скорости $x_{0,c}$. Результирующий сигнал $x_{вх}$ подается на вход регулятора скорости PC .

Кроме основного контура регулирования скорости, в системе имеется подчиненный ему контур регулирования тока якоря. Сигнал $x_{от}$, соответствующий току якоря, по цепи отрицательной о. с. $K2$ подается на вход регулятора тока PT . Здесь он алгебраически суммируется с выходным сигналом регулятора PC , образуя результирующий сигнал, подаваемый на вход PT . Таким образом, выходной сигнал PC является задающим сигналом для PT . На выходе PT формируется сигнал управления $ТП$. Такая система будет поддерживать ток двигателя в соответствии с заданием, т. е. сигналом PC .

Опыт широкого применения систем подчиненного регулирования УБСР-А и УБСР-АИ полностью подтверждает их высокие достоинства, важнейшими из которых являются однотипность систем при хорошем качестве регулирования, надежность, простота монтажа, наладки и обслуживания.

5.11. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПОДЪЕМНИКОВ

Лифты в жилых домах и общественных зданиях и на промышленных предприятиях. Согласно ПУЭ-76 напряжение электрических цепей лифтов (подъемников), устанавливаемых в жилых домах и общественных зданиях, а также на промышленных предприятиях, не должно превышать следующие пределы: в машинных помещениях — 660 В; в кабинах, шахтах и на этажных площадках — 380 В; в цепях управления, освещения и сигнализации во всех помещениях — 220 В. При использовании фазы и нулевого провода питание цепей управления, освещения и сигнализации должно производиться от одной фазы.

На рис. 5.23 показаны наиболее распространенные схемы электроснабжения потребителей жилых домов. Питание электроприемников зданий, оборудованных лифтами, обычно осуществляется по радиальным схемам с двумя взаимно резервируемыми кабельными линиями $L1$ и $L2$.

Комплексы электроприемников всех зданий с количеством этажей от 5 до 16, лечебных и детских учреждений, а также школ и учебных заведений относятся к потребителям второй категории. Для обеспечения требуемой надежности электроснабжения таких потребителей на вводных устройствах в зданиях (рис. 5.23, а) устанавливают переключатели $П1$ и $П2$, обеспечивающие ручное включение резервного питания дежурным персоналом.

В зданиях с количеством этажей более 16 лифты, пожарные насосы и аварийное освещение относятся к потребителям первой категории. Схема электроснабжения таких потребителей (рис. 5.23, б) предусматривает питание от двух трансформаторов $Tr1$ и $Tr2$ по двум линиям $L1$ и $L2$ с автоматическим вклю-

чением резерва (АВР). В нормальных условиях питание лифтов и других потребителей этой категории производится, например, по линии $L2$ от трансформатора $Tr2$. Выключатели $B1$ и $B2$ — включены. При выходе из строя линии $L2$ или трансформатора $Tr2$ срабатывает АВР и схема автоматически переключается на линию $L1$ и трансформатор $Tr1$. При этом перерыв в электроснабжении определяется только временем срабатывания АВР.

Выбор трансформаторов, а также кабельных линий производится с учетом аварийных режимов, возникающих при выходе из строя элементов схемы электроснабжения, и необходимости питания всех электропотребителей здания от одного трансформатора по одной линии.

Электропроводки в машинном помещении, шахте лифта (подъемник) и кабине должны выполняться проводами или кабелями с резиновой или равноценной изоляцией; применение силовых и контрольных кабелей с изоляцией из пропитанной кабельной бумаги не допускается.

Площадь сечения жил кабелей и проводов должна быть не менее $1,5 \text{ мм}^2$ для медных жил и $2,5 \text{ мм}^2$ для алюминиевых. Заземление электрических машин и аппаратов, установленных на звуко- и виброизоляционных опорах, должно быть выполнено гибким проводом. Для заземления кабины следует использовать одну из жил кабеля или один из проводов токоподвода.

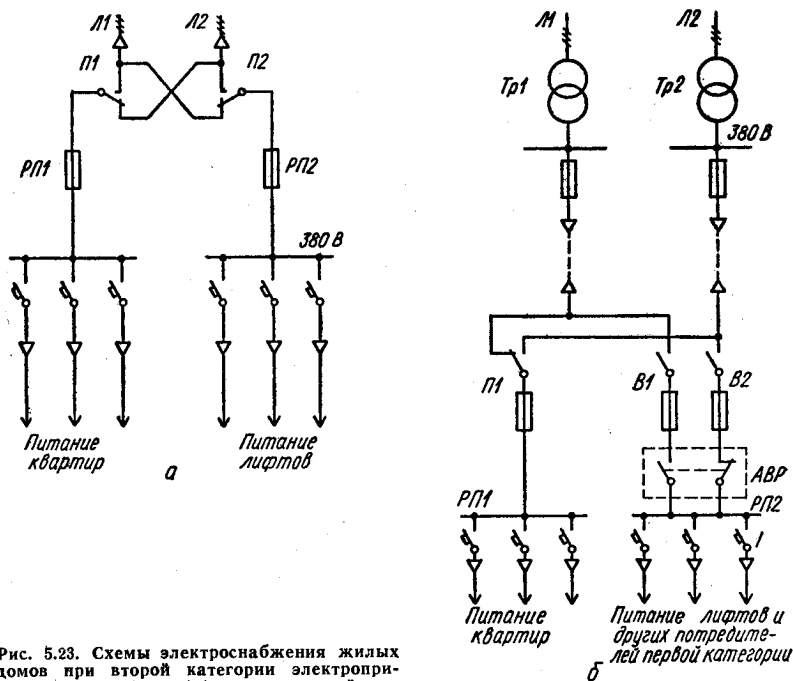


Рис. 5.23. Схемы электроснабжения жилых домов при второй категории электроприемников и лифтов (а) и при первой категории лифтов (б)

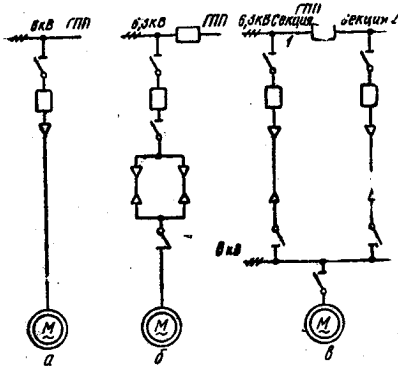


Рис. 5.24. Типовые схемы электроснабжения шахтных подъемных установок третьей (а), второй (б) и первой (в) категорий

Дополнительным заземляющим проводником могут быть экранирующие оболочки и несущие тросы кабелей, а также стальные несущие тросы кабины.

Шахтные подъемные установки.

Электроснабжение шахтных подъемных установок осуществляется в соответствии с правилами технической эксплуатации (ПТЭ) угольных и сланцевых шахт. Поскольку клетевые подъемы, как правило, производят транспортировку людей, по бесперебойности (надежности) электроснабжения они относятся к потребителям первой категории и должны питаться от двух независимых источников, главные скиповые подъемные установки (угольные и руд-

ные) — к потребителям второй категории, а вспомогательные скиповые (породные) и клетевые на вентиляционных стволах — к потребителям третьей категории.

Резервное электроснабжение должно предусматриваться только для объектов первой и второй категорий и осуществляться путем обеспечения 100 %-ного линейного резерва и установки на подстанции не менее двух понижающих трансформаторов. Для объектов третьей категории резервное электроснабжение не предусматривается.

Шахтные электроустановки, их эксплуатация, а также эксплуатация электрооборудования, средств защиты и кабелей должны соответствовать Государственным стандартам и требованиям ПУЭ, ПТЭ, ПТБ.

На рис. 5.24 изображены типовые схемы бесперебойного электроснабжения шахтных подъемных установок разных категорий. В схеме, показанной на рис. 5.24, б, питание электропривода скиповой подъемной установки производится по двум кабелям из расчета того, чтобы в случае повреждения одного из кабелей питание осуществлялось по другому.

6.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕХАНИЧЕСКОМ
ОБОРУДОВАНИИ КОНВЕЙЕРОВ

Транспортными механизмами непрерывного действия называются различные устройства, предназначенные для механизации вспомогательных операций транспортировки сырья, топлива, руды, деталей машин, товаров широкого потребления, кормов, продуктов и т. п. К таким механизмам в первую очередь относятся различные конвейеры (ленточные, пластинчатые, скребковые, ковшовые, цепные, винтовые), а также устройства пневматического и гидравлического транспорта. Следует назвать также и другие виды непрерывного транспорта, такие как эскалаторы, воздушные канатные дороги и пр.

На технологических линиях сборных цехов машиностроительных и автомобильных заводов применяются специальные подвесные конвейеры, оборудованные грузозахватывающими приспособлениями.

Основной конструктивной частью механизмов непрерывного транспорта, в частности любого конвейера, является замкнутый, непрерывно движущийся в процессе работы тяговый орган, который выполняется из ленты специального изготовления (текстильной, прорезиненной), цепей или канатов. Применение той или иной конструкции тягового органа обуславливается характером перемещаемого груза, скоростью его движения и условиями окружающей среды.

К наиболее распространенным механизмам непрерывного транспорта относятся *ленточные* конвейеры. Они широко применяются на горных разработках, тепловых электростанциях, обогатительных фабриках, в строительной и пищевой промышленности, в торговых помещениях и т. п.

На рис. 6.1 изображена кинематическая схема ленточного конвейера. Текстильная прорезиненная лента 1 движется по верхним и нижним роликам 2. Электропривод конвейера осуществляется двигателем, который приводит во вращение ведущий

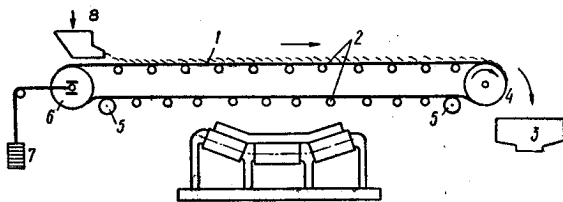


Рис. 6.1. Кинематическая схема ленточного конвейера

Поперечное сечение верхней роликоопоры

барабан 4. Натяжная станция, обеспечивающая предварительное натяжение ленты, состоит из барабана 6, подшипники которого могут перемещаться вдоль горизонтальных направляющих, и груза 7. Угол обхвата приводного и натяжного барабанов увеличивается с помощью отводящих роликов 5. Загрузка конвейера производится через загрузочную воронку 8, а разгрузка — в бункер 3. Длина одного ленточного конвейера может достигать сотен метров при скорости движения ленты (шириной до 2 м) 1,5...3 м/с. Производительность такого конвейера может быть до 700 т/ч.

Часто производственный процесс обслуживается группой конвейеров, объединенных общим технологическим циклом в единую поточно-транспортную систему (ПТС). В ПТС конвейеры могут образовывать несколько параллельных или последовательных цепочек. При этом движение тяговых органов конвейеров должно быть строго согласованным. На трассах большой протяженности, например на открытых горных разработках, используются ПТС с последовательно расположенными конвейерами.

Механизмы и системы непрерывного транспорта оборудуются датчиками различных типов, предназначенными для контроля состояния технологического процесса и его параметров (уровня, давления, температуры, скорости движения и др.).

6.2. ЭЛЕКТРОПРИВОД КОНВЕЙЕРНЫХ УСТАНОВОК

Как правило, технологические процессы, обслуживаемые конвейерами, определяют равномерное (в одном направлении) движение груза, скорость которого постоянна или же должна изменяться в незначительных пределах. Поэтому режим работы приводных электродвигателей конвейеров — продолжительный, с редкими пусками и остановками. В случае необходимости применяется неглубокое регулирование скорости в пределах 2:1.

Двигатели конвейеров во многих случаях работают на открытом воздухе, в местах с большой запыленностью, с влажной или агрессивной средой, в условиях резкого колебания температуры. Особенностью конвейерных электроприводов являются повышенные моменты сопротивления при трогании. Поэтому двигатели конвейерных установок должны иметь закрытое исполнение и обладать повышенным моментом при пуске. Кроме того, к двигателям конвейеров предъявляются требования высокой надежности и простоты обслуживания. В некоторых случаях возникают дополнительные требования, касающиеся обеспечения плавного пуска, предотвращения пробуксовывания ленты, согласованного вращения нескольких электроприводов. Всем этим требованиям в достаточной мере удовлетворяют асинхронные двигатели с короткозамкнутым или с фазным ротором.

Определение мощности электропривода конвейера производится путем расчета и построения диаграммы тяговых усилий с учетом потерь в каждом элементе по всей трассе конвейера —

со всеми подъемами и спусками, перегибами, приводными и натяжными станциями, направляющими блоками и барабанами. Для ориентировочного определения мощности двигателя P (кВт) предложена упрощенная формула

$$P = \frac{Q}{367\eta_{\text{п}}} (cL + H) k_3, \quad (6.1)$$

Таблица 6.1. Значения коэффициента c

L, м	Q, т/ч			
	10	50	200	400
10	2,00	0,92	0,50	0,37
50	0,66	0,35	0,22	0,18
200	0,35	0,21	0,14	0,12

где Q — производительность конвейера, т/ч; L — длина конвейера между барабанами, м; H — высота подъема груза, м; k_3 — коэффициент запаса ($k_3 = 1,1 \dots 1,25$); $\eta_{\text{п}}$ — к. п. д. передаточного механизма ($\eta_{\text{п}} = 0,75 \dots 0,8$); c — расчетный коэффициент, зависящий от производительности конвейера и его длины (табл. 6.1).

Электропривод конвейеров большой протяженности с одним двигателем осуществлять нецелесообразно, так как в этом случае в механическом оборудовании, расположенном поблизости приводной станции, развиваются большие усилия. Перегрузка отдельных участков конвейера приводит к тому, что размеры механической части и, особенно, тягового органа резко возрастают. Чтобы предотвратить появление больших тяговых усилий, такие конвейеры приводят в движение от нескольких приводных станций. При этом в тяговом органе приводной станции создается усилие, пропорциональное статическому сопротивлению только одного участка конвейера, и тяговый орган не передает усилие приводу всего конвейера.

Асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором применяются только в однобарабанных электроприводах. Плавный и безударный пуск при этом не обеспечивается, из-за чего такой вариант находит применение при мощности электропривода до 50 кВт. Для осуществления плавного пуска и устранения ударов, возникающих в редукторе вследствие зазоров, в приводах с асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором устанавливают различные приводные муфты (турбо- или электромагнитные муфты) при мощности одного двигателя до 250 кВт. Однако чаще всего в таких случаях применяют асинхронные двигатели с фазным ротором, которые отвечают всем требованиям и пригодны для любых схем и мощностей. Плавность пуска обеспечивается большим числом ступеней пускового реостата. Стабилизация распределения нагрузки в двухдвигательном (или многодвигательном) электроприводе достигается смягчением характеристики при введении невыключаемых резисторов в цепь ротора.

В многодвигательном электроприводе конвейера роторы двигателей вращаются с одинаковой частотой, так как они механически связаны между собой тяговыми органами (работают на одну механическую систему). При этом большое значение имеет правильное распределение нагрузки между отдельными привод-

ными двигателями. Неравномерность распределения нагрузки может иметь место вследствие расхождения механических характеристик двигателей, а также из-за разницы сопротивлений питающих двигатели сетей. При неравномерном распределении нагрузки между двигателями тянущий орган перегружается на отдельных участках трассы.

На рис. 6.2 показаны механические характеристики двухдвигательного электропривода конвейера. Характеристики 1 и 2 являются естественными, соответственно характеристики 1' и 2' получены при введении в цепь ротора каждого двигателя дополнительного сопротивления. При одинаковой угловой скорости двигателей $\omega_{\text{ном}}$ или $\omega'_{\text{ном}}$, определяемой равномерным движением тягового органа, один из них будет перегружен, а другой работает с недогрузкой. При введении сопротивления в цепь ротора характеристика становится мягче, что приводит к более равномерному распределению нагрузки между двигателями.

К системам электропривода конвейеров, используемых на заводах и рудниках, предъявляется ряд требований, связанных с автоматизацией производственных процессов, дистанционным управлением и соблюдением последовательности пуска и остановки нескольких конвейерных линий. В таких системах применяются специальная аппаратура и устройства автоматизации, к которым, в первую очередь, относятся реле скорости с магнитоиндуктивными или с тахогенераторными датчиками.

Поскольку все неисправности конвейера в конечном счете сказываются на скорости движения его рабочего (тягового) органа, для осуществления автоматического контроля состояния конвейера нужны аппараты, действующие от его рабочего органа и контролирующие скорость движения. Такими аппаратами и являются реле скорости.

На рис. 6.3 схематически изображен магнитоиндуктивный датчик. На ролике *P* по образующей имеется несколько пазов. При вращении ролика индуктивность датчика *ИД* то падает (на пазах), то возрастает (на сплошном массиве), а создаваемые при этом импульсы э. д. с. через усилитель посылаются в цепь управления электроприводом конвейера.

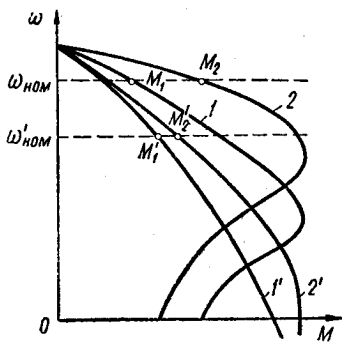


Рис. 6.2. Механические характеристики двухдвигательного электропривода конвейера

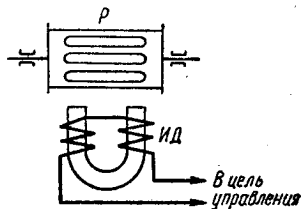


Рис. 6.3. Магнитоиндуктивный датчик скорости конвейера

6.3. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ КОНВЕЙЕРОВ

Асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором простейших одиночных конвейеров управляются посредством магнитных пускателей или же автоматов с максимальной и тепловой защитой от перегрузки. Для управления асинхронными двигателями с фазным ротором мощных конвейеров используют магнитные станции с электрической аппаратурой защиты и автоматического пуска двигателей.

Более сложными являются схемы управления конвейерами ПТС. Для совместно работающих групп конвейеров во избежание завалов материала необходимо, чтобы при остановке конвейера, идущего впереди, автоматически останавливались последующие. Запускают же двигатели конвейеров в последовательности, обратной направлению движения груза (рис. 6.4), а остановку линии начинают отключением двигателя конвейера, с которого груз поступает на последующие конвейеры. При аварийной или случайной остановке какого-либо конвейера двигатели всех конвейеров, подающих груз на остановившийся конвейер, должны остановиться, а следующие за ним конвейеры могут работать дальше.

Реле контроля скорости движения тягового органа контролирует исправное состояние конвейерной установки. В случае обрыва или проскальзывания ленты это реле дает команду на отключение двигателя. Контроль за нормальным движением груза осуществляется специальными датчиками, конструкция которых определяется видом транспортируемого материала. При возникновении завала датчики воздействуют сначала на цепи сигнализации, а затем на отключение двигателей.

Управление конвейерной установкой, имеющей несколько конвейерных линий, может быть *централизованным* (тогда оно осуществляется дистанционно с диспетчерского пункта) и *местным* (при выполнении наладочных работ или при ликвидации завала). При централизованном управлении пуск или остановка двигателей конвейерной линии происходит по команде диспетчера, который воздействует на универсальный переключатель или на кнопку диспетчерского пульта. Местное управление осуществляется с помощью кнопок «Пуск» и «Стоп», расположенных вдоль трассы конвейера.

Схемой управления группой конвейеров обычно предусматривается сигнализация. Звуковая сигнализация предупреждает обслуживающий персонал о предстоящем пуске. При аварийной остановке конвейера или появлении завала диспетчер извещается сигналом звонка. На мнемонической схеме диспетчерского пункта



Рис. 6.4. Схема конвейерной линии, состоящей из трех конвейеров

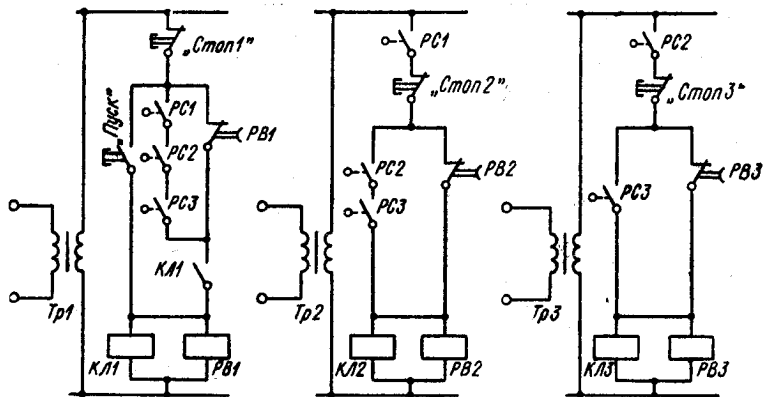


Рис. 6.5. Принципиальная схема управления тремя конвейерными линиями

световая сигнализация информирует о работе конвейера и других механизмов, входящих в состав ПТС. Аварийные звуковая и световая сигнализации позволяют быстро обнаружить неисправность и исключить возникновение завала, который может привести к остановке всего производства.

В зависимости от технологии производственного процесса и места расположения обслуживаемых конвейерными линиями объектов можно использовать самые разнообразные схемы управления электроприводами конвейеров. На рис. 6.5 показана принципиальная схема управления тремя конвейерными линиями с применением реле скорости, действующими от рабочего органа конвейера (ленты) и включающими каждый последующий конвейер только после того, как лента предыдущего конвейера достигнет номинальной скорости. Этой схемой предусматривается также контроль длительности пуска каждого конвейера по времени.

Кратковременным нажатием кнопки «Пуск» включаются катушка контактора $KЛ1$ и реле времени $PВ1$. Кнопка «Пуск» шунтируется замыкающим контактом $KЛ1$ и размыкающим контактом $PВ1$. После того как лента первого конвейера приобретет номинальную скорость, включится реле скорости и замкнет свои контакты $PC1$ в цепи контактора $KЛ1$ первого пускателя и в цепи контактора $KЛ2$ второго пускателя. В связи с этим первый конвейер переводится на самоконтроль (после размыкания контакта $PВ1$), а второй — на режим пуска, по окончании которого, когда лента этого конвейера достигнет номинальной скорости, реле скорости $PC2$ сработает и замкнет свои контакты. Первым контактом $PC2$ переводит второй конвейер на самоконтроль, а своим вторым контактом осуществляет пуск третьего конвейера и т. д.

Таким образом, после пуска первого конвейера дальнейший пуск всех остальных конвейеров будет осуществляться автома-

тивчески в зависимости от скорости рабочих органов конвейеров. Если по каким-либо причинам скорость рабочего органа одного из конвейеров не достигнет номинального значения и контакты его реле скорости PC не замкнутся, то размыкающий контакт соответствующего реле времени PB разомкнется и пуск конвейерной линии будет приостановлен.

Если во время нормальной работы конвейера его рабочий орган значительно снизит скорость или совсем остановится (в результате пробуксовки или обрыва), то произойдет автоматическая остановка вышедшего из строя конвейера и всех связанных с ним конвейеров, передающих груз на поврежденный конвейер, вследствие размыкания соответствующих контактов реле скорости PC . Следует отметить, что уставка реле времени $PBI, \dots, PB3$ делается различной в связи с необходимостью учета соответствующей длительности пуска последующих конвейеров.

6.4. ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МЕХАНИЗМОВ НЕПРЕРЫВНОГО ТРАНСПОРТА

Большинство конвейерных установок подготовительных цехов металлургических комбинатов, обогатительных фабрик, топливоподач ТЭЦ, технологических линий машиностроительных заводов и других оборудуются асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором мощностью до 100 кВт при напряжении 380 В. Технологический процесс определяет местоположение двигателей, график изменения потребляемой ими энергии, конфигурацию электрических сетей и их пропускную способность. Так, технологическая схема подготовительного производства крупного металлургического комбината имеет разветвленную сеть конвейеров со многими грузопотоками различных направлений с общей протяженностью конвейерных линий около 80...100 км. Конвейеры такого комплекса работают практически с постоянной производительностью и поэтому мощность, потребляемая двигателями, почти не меняется.

На предприятиях горнодобывающей промышленности грузопоток имеет ограниченное количество направлений. Загружаются конвейеры добывающими машинами и потому поток транспортируемого материала неравномерен. При этом мощность, потребляемая приводными двигателями, может изменяться в значительных пределах (на 20...30 % относительно номинальной). Изменение нагрузки вызывает колебание напряжения питающей сети. При пониженном напряжении перегрузочная способность и пусковой момент двигателя уменьшаются, в результате чего пуск конвейерной линии может оказаться невозможным. При многодвигательном электроприводе колебание напряжения ухудшает условия распределения нагрузки между двигателями.

Для электроснабжения ПТС с сосредоточенным расположением двигателей, по отношению к которым трансформаторная подстанция $ТП$ может занимать центральное место, используют

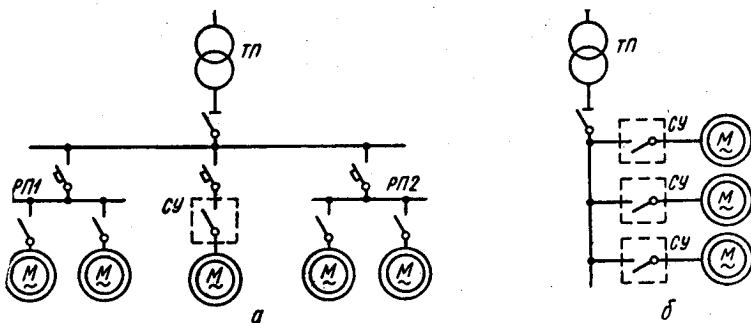


Рис. 6.6. Радиальная (а) и магистральная (б) схемы электроснабжения приводов ПТС

радиальную схему питания (рис. 6.6, а). При такой схеме мощные двигатели конвейеров большой производительности получают питание непосредственно от ТП, а двигатели небольшой мощности, близко расположенные друг к другу, объединяются в группы с подключением к ТП через распределительные пункты РП.

Иногда расположение технологического оборудования позволяет применить магистральную (рис. 6.6, б) или же магистрально-радиальную схему питания. В отличие от радиальной в магистральной схеме нагрузка подключается непосредственно к магистрали без РП. Станции управления (СУ) двигателями располагают в непосредственной близости от них. Магистральная схема питания экономичнее радиальной, в которой каждое ответвление рассчитано на пусковой ток двигателя. Особо экономичной магистральная схема оказывается при мощности двигателей 1...2,5 кВт, когда провода и кабели выбирают, исходя из их механической прочности.

7.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Насосы, вентиляторы и компрессоры различных типов и конструкций широко применяются на промышленных предприятиях, в частности на металлургических заводах, электрических станциях, шахтах, в коммунальном хозяйстве и т. д.

Насосами называются механизмы, предназначенные для транспортирования жидких сред (питательные, конденсатные, циркуляционные и сетевые насосы на тепловых и атомных электростанциях; насосы в системе водоснабжения и канализации; насосы для откачки шахтных вод и т. п.). К вентиляторам относятся механизмы, осуществляющие транспортирование воздуха или другого газа (шахтные и промышленные вентиляторы, дымососы, газодувки и т. д.). Компрессоры — это механизмы, предназначенные для получения и транспортирования сжатого воздуха или какого-либо другого газа.

По принципу работы и конструкции насосы бывают *центробежные, поршневые, ротационные, винтовые и шестеренчатые*; вентиляторы — *центробежные и осевые*; компрессоры — *центробежные и осевые* (турбокомпрессоры), *поршневые, ротационные и винтовые*. Наибольшее распространение получили механизмы центробежного (рис. 7.1) и поршневого (рис. 7.2) типов. Первые характеризуются простотой конструкции, надежностью в эксплуатации, равномерной подачей рабочей среды, а также возможностью получения больших подач. Положительное свойство вторых — возможность создания высоких давлений (до 100 МПа в случае компрессоров), основной недостаток — конструктивная сложность.

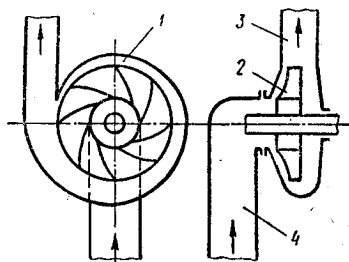


Рис. 7.1. Схема механизма центробежного типа:

- 1 — корпус; 2 — рабочее колесо;
3 — нагнетательный трубопровод;
4 — всасывающий трубопровод

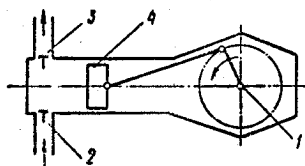


Рис. 7.2. Схема механизма поршневого типа:

- 1 — кривошипный вал; 2 — всасывающий клапан; 3 — нагнетательный клапан; 4 — поршень

Механизмы поршневого типа различаются по способу действия (*одинарного и двойного действия*), количеству цилиндров (*одно- и многоцилиндровые*), числу ступеней сжатия (*одно- и многоступенчатые*). Вентиляторы большой подачи, например шахтные, часто выполняются осевыми (рис. 7.3). Механизмы этого типа более надежно, чем остальные, работают при запыленном газе и имеют сравнительно высокий к. п. д.

Работа насосов, вентиляторов и компрессоров характеризуется следующими основными параметрами: подачей, давлением (напором), мощностью, к. п. д. и частотой вращения. Подача текучей среды (жидкости, газа) в единицу времени чаще всего измеряется в объемных единицах ($\text{м}^3/\text{с}$, $\text{м}^3/\text{мин}$, $\text{м}^3/\text{ч}$). Обычно подачу насосов выражают в $\text{м}^3/\text{ч}$, вентиляторов — в $\text{м}^3/\text{с}$, а компрессоров — в $\text{м}^3/\text{мин}$.

Единица давления в СИ называется *паскалем* ($1 \text{ Па} = 1 \text{ Н}/\text{м}^2$). В ранее используемой технической системе (МКС) единица давления выражалась в $\text{кгс}/\text{м}^2$. Очевидно, $1 \text{ кгс}/\text{м}^2 = 9,81 \text{ Н}/\text{м}^2 = 9,81 \text{ Па}$. Давление $1 \text{ кгс}/\text{м}^2$ равно давлению водяного столба высотой 1 мм. Поэтому единица давления $1 \text{ кгс}/\text{м}^2$ называлась еще *миллиметром водяного столба* (мм вод. ст.). Она часто использовалась при измерении напора вентиляторов. Напор, создаваемый насосом, выражали обычно в метрах столба перекачиваемой жидкости. Поскольку сила тяжести 1 м^3 жидкости составляет $9,81 \rho$ (Н), давлению 1 м жидкости соответствует $9,81 \rho \text{ Н}/\text{м}^2 = 9,81 \rho \text{ Па}$, где ρ — плотность жидкости ($\text{кг}/\text{м}^3$). Напор, создаваемый компрессором, часто выражали в технических атмосферах (ат). Очевидно, $1 \text{ ат} = 1 \text{ кгс}/\text{см}^2 = 10^4 \text{ кгс}/\text{м}^2 = 9,81 \cdot 10^4 \text{ Н}/\text{м}^2 = 9,81 \cdot 10^4 \text{ Па}$.

Центробежные насосы, вентиляторы и компрессоры относятся к механизмам с *вентиляторной характеристикой*, момент сопротивления которых является функцией угловой скорости. С некоторыми допущениями можно считать, что у механизмов центробеж-

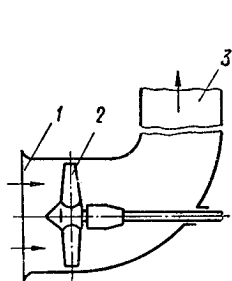


Рис. 7.3. Схема осевого вентилятора:
1 — воздухозаборник; 2 — рабочее колесо; 3 — нагнетательный трубопровод

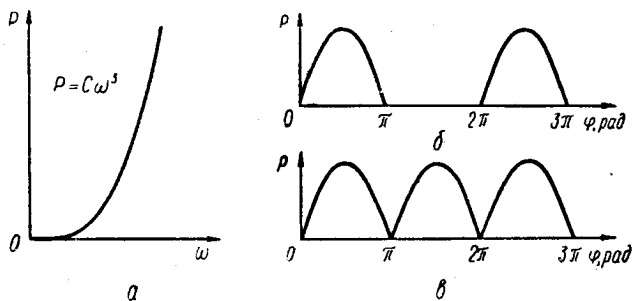


Рис. 7.4. Зависимость мощности на валу механизма центробежного типа (а), механизмов поршневого одинарного (б) и двойного (в) действия от угловой скорости и угла поворота кривошипа соответственно

ного типа подача изменяется пропорционально первой степени угловой скорости, момент — пропорционально второй степени, а мощность на валу (рис. 7.4, а) — пропорционально третьей степени.

У механизмов поршневого типа мгновенные значения момента и мощности на валу изменяются по синусоидальному закону в зависимости от угла поворота кривошипа (рис. 7.4, б и в). Для этих механизмов характерны неравномерность хода и пульсирующая нагрузка на валу приводных электродвигателей. Сглаживание пульсаций и повышение равномерности хода достигаются применением в одном механизме нескольких цилиндров и установкой маховика (при больших мощностях роль маховика играет ротор приводного двигателя). Средний момент сопротивления машин поршневого типа принимается независимым от их угловой скорости.

Частота вращения насосов, вентиляторов и компрессоров измеряется в оборотах в минуту (об/мин) и является величиной, от которой зависят подача, давление (напор) и мощность на валу механизма. Обычно механизмы центробежного типа выполняются быстроходными, а поршневого — тихоходными.

Центробежные насосы перед пуском предварительно заливают жидкостью. Применяют три способа их пуска: 1) при закрытой напорной задвижке; 2) при открытой задвижке; 3) с одновременным включением на открывание задвижки. При первом способе пуск производится с небольшой нагрузкой (момент на валу двигателя составляет 5...20% номинального в начале пуска и 35...50% в конце), что является его достоинством. Преимущество пуска по второму способу, который рекомендуется как основной, заключается в малой продолжительности пуска насосной установки, поскольку не тратится время на открывание задвижки. Этот способ особенно целесообразен, если насос находится ниже уровня жидкости в заборном резервуаре. Третий способ пуска является комбинацией первых двух.

Перед тем как остановить насос, следует предварительно медленно (во избежание гидравлического удара) закрыть напорную задвижку, чтобы исключить возможность работы насоса в качестве гидротурбины под воздействием жидкости, находящейся в системе.

Поршневые насосы пускают в ход при открытой задвижке на напорном трубопроводе, т. е. под нагрузкой. Пуск при закрытой задвижке может привести к аварии.

Вентиляторы и компрессоры обычно пускают в ход без нагрузки, поэтому условия пуска их приводных двигателей относительно легкие. Так, например, если центробежный вентилятор запускается при закрытой задвижке со стороны засоса воздуха, то пусковой момент составляет всего 20...25% номинального.

7.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

При выборе мощности приводных электродвигателей исходной величиной является статическая нагрузка на валу механизма. Значение и характер статической нагрузки насосов, вентиляторов и компрессоров определяются силами, действующими на их рабочий орган. Природа возникновения этих сил сравнительно сложна и зависит от конструкции механизма. Требуемую мощность двигателей находят обычно по приближенным формулам.

Мощность на валу двигателя насоса (кВт)

$$P = \frac{QH\rho g}{\eta_n \eta_n} \cdot 10^{-3} k_3 = \frac{QH\rho g k_3}{102 \eta_n \eta_n}, \quad (7.1)$$

где Q — подача насоса, м³/с; H — суммарный напор, м; ρ — плотность перекачиваемой жидкости, кг/м³; $g = 9,81$ м/с² — ускорение свободного падения, η_n — к. п. д. насоса (для центробежных насосов с давлением до 40 кПа $\eta_n = 0,3 \dots 0,6$; с давлением свыше 40 кПа — $\eta_n = 0,6 \dots 0,8$; для поршневых насосов $\eta_n = 0,7 \dots 0,9$); η_n — к. п. д. передачи (при непосредственном соединении валов двигателя и насоса $\eta_n = 1$); k_3 — коэффициент запаса, учитывающий неподдающиеся расчету факторы (для двигателей мощностью до 50 кВт $k_3 = 1,2$; мощностью 50 ... 350 кВт $k_3 = 1,15$; мощностью свыше 250 кВт $k_3 = 1,1$).

Суммарный (дифференциальный или манометрический) напор складывается из трех составляющих:

$$H = H_b + H_n + \Delta H,$$

где H_b — высота всасывания, м; H_n — высота нагнетания, м; ΔH — высота, соответствующая потерям напора в магистрали (динамический напор), м. Последняя зависит от площади сечения труб, кризисны участков трубопровода и т. д.

Сумма высот всасывания и нагнетания называется *геодезическим напором*.

Мощность на валу двигателя вентилятора (кВт)

$$P = \frac{QH}{\eta_b \eta_n} \cdot 10^{-3} k_3, \quad (7.2)$$

где Q — подача вентилятора, м³/с; H — напор, Па; η_b — к. п. д. вентилятора (для центробежных вентиляторов $\eta_b = 0,4 \dots 0,7$; для осевых $\eta_b = 0,5 \dots 0,85$); η_n — к. п. д. передачи; $k_3 = 1,05 \dots 1,3$ — коэффициент запаса (большие значения k_3 относятся к меньшей мощности установок и наоборот).

Если напор измеряется в миллиметрах водяного столба, то мощность на валу двигателя вентилятора

$$P = \frac{QHk_3}{102 \eta_b \eta_n}. \quad (7.3)$$

Мощность на валу двигателя компрессора (кВт)

$$P = \frac{Q(A_n + A_a)}{2\eta_k\eta_n} \cdot 10^{-3}k_s, \quad (7.4)$$

где Q — подача компрессора, м³/с; A_n — удельная работа изотермического сжатия (Дж/м³) до давления p_2 ; A_a — удельная работа адиабатического сжатия (Дж/м³) до давления p_2 ; p_2 — конечное избыточное давление сжатия, Па; η_k — к. п. д. компрессора ($\eta_k = 0,6 \dots 0,8$); η_n — к. п. д. передачи; $k_s = 1,05 \dots 1,3$ — коэффициент запаса (большие значения k_s относятся к меньшей мощности и наоборот).

Значения A_n и A_a при различных давлениях p_2 приведены в табл. 7.1.

Таблица 7.1. Значения изотермической и адиабатической работ сжатия 1 м³ атмосферного воздуха при различных давлениях p_2

Параметр	Значение параметра									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
p_2 , МПа										
A_n , Дж/м ³	39 730	67 690	107 900	136 300	157 900	175 600	191 300	204 000	216 000	225 500
A_a , Дж/м ³	42 200	75 500	126 500	167 800	201 100	230 500	256 000	280 600	301 200	320 800

Более точно мощность на валу двигателя компрессора можно найти, если известна действительная индикаторная диаграмма сжатия воздуха или газа:

$$P = \frac{QA}{\eta_k\eta_n} \cdot 10^{-3}k_s, \quad (7.5)$$

где A — удельная работа сжатия воздуха или газа (Дж/м³), определяемая по индикаторной диаграмме.

Зная мощность P , можно рассчитать момент на валу двигателя ($H \cdot м$)

$$M = 9550 P/n,$$

где n — частота вращения двигателя, об/мин.

Следует отметить, что по найденной на основании формул (7.1), ..., (7.5) мощности может быть выбран двигатель лишь для его продолжительного режима работы (наиболее вероятного). При работе в кратковременном режиме необходимо учитывать действительную длительность рабочего периода, а при повторно-кратковременном режиме — ПВ.

Основной характеристикой, определяющей эксплуатационные свойства насосов, вентиляторов и компрессоров, является так называемая Q — H -характеристика — зависимость напора H от подачи Q механизма, работающего с неизменной частотой вращения. Эта характеристика задается обычно графически и для каждого конкретного механизма приводится в каталогах.

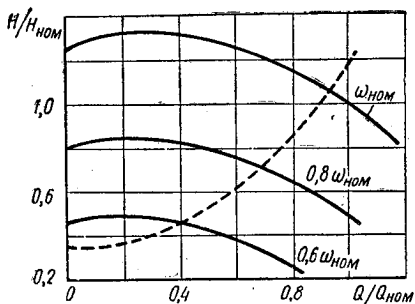


Рис. 7.5. $Q-H$ характеристики центробежного насоса

На рис. 7.5 в качестве примера изображены три $Q-H$ характеристики центробежного насоса. Точки пересечения их с характеристикой магистрали (штриховая кривая), под которой понимается зависимость потерь напора в магистрали ΔH от подачи Q , определяют значения величин Q и H , т. е. режим механизма. По известным значениям Q и H с использованием соответствующих формул может быть найдена мощность на валу механизма и приводного электродвигателя.

7.3. СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

В электроприводе насосов, вентиляторов и компрессоров применяются двигатели мощностью от долей киловатт (небольшие маслонасосы и вентиляторы) до нескольких мегаватт (шахтные вентиляторные установки главного проветривания, дымососы, нагнетательные турбокомпрессоры магистральных газопроводов). При выборе системы электропривода этих механизмов в зависимости от его мощности и предъявляемых к нему требований может возникнуть необходимость рассмотрения нескольких возможных вариантов привода. Наиболее целесообразное решение находится путем технико-экономического их сопоставления.

Выбор той или иной системы электропривода определяется, в частности, тем обстоятельством, требуется ли регулирование подачи установки. Регулирование может быть *незначительным* (например, на электрических станциях, где необходимая подача вентиляторов и дымососов зависит от качества и состава топлива котельного агрегата) и *глубоким* (для аэродинамических труб, шахтных водоотливных установок при непостоянном притоке воды).

Подачу насосных, вентиляторных и компрессорных установок можно регулировать несколькими способами: 1) изменением частоты вращения приводного двигателя (электрический способ); 2) путем изменения результирующего сопротивления магистрали с помощью задвижек (механический способ); 3) посредством специальных устройств, имеющих в самом механизме (направляющие лопатки и др.); 4) изменением числа механизмов, работающих на одну магистраль; 5) комбинированным способом.

Выбор того или иного способа регулирования определяется многими факторами: требованиями в отношении диапазона и экономичности регулирования, мощностью и конструкцией механизма и др. Так, например, в механизмах поршневого типа относительно часто используют способ регулирования, при котором подача их меняется включением или отключением машин, работа-

ющих параллельно на одну магистраль. При вентиляторном моменте сопротивления, присущем механизмам центробежного типа, максимальные потери энергии в роторной цепи в случае реостатного регулирования частоты вращения асинхронных двигателей с фазным ротором не превышают 15...17% номинальной мощности на валу. Следовательно, для установок такого типа малой и средней мощности с позиций экономичности может быть оправдано применение и электрического способа регулирования подачи.

Все названные способы регулирования подачи насосов, вентиляторов и компрессоров связаны с потерями энергии, но само значение потерь существенно зависит от выбранного способа регулирования (рис. 7.6).

Во многих случаях предпочтение отдают электрическому способу регулирования как более рациональному в отношении возможности автоматизации процесса управления, экономичности и качества регулирования, упрощения конструкции механической части установок и др.

Условимся установками малой мощности считать установки мощностью 5...50 кВт, средней — мощностью 50...500 кВт, большой — мощностью 500...10 000 кВт и выше.

В механизмах, не требующих регулирования подачи, в качестве приводных используются асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором (установки малой, средней и большой мощности) и синхронные двигатели (установки средней и большой мощности). В отдельных случаях, когда прямой пуск асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором осуществить нельзя, а пуск с ограничивающим реактором в цепи статора неприемлем, могут применяться и асинхронные двигатели с фазным ротором.

При мощности установок более 200...300 кВт предпочтение отдается синхронным двигателям, имеющим следующие преимущества по сравнению с асинхронными: возможность получения оптимального режима по реактивной энергии, что позволяет существенно улучшить коэффициент мощности промышленного предприятия; меньшую чувствительность к колебаниям напряжения сети; возможность, в случае необходимости (при резком повышении нагрузки или снижении напряжения сети), кратковременного увеличения перегрузочной способности за счет повышения тока возбуждения; постоянство частоты вращения при любой нагрузке на валу двигателя в пределах его перегрузочной способности.

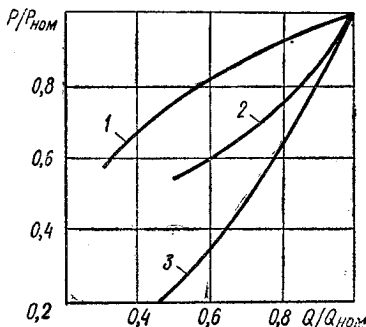


Рис. 7.6. Зависимость относительной мощности, потребляемой асинхронным электродвигателем вентилятора, от его относительной подачи при различных способах ее регулирования:

1 — введением дроссельной задвижки; 2 — использованием направляющего аппарата; 3 — с помощью реостата в роторной цепи двигателя

Механизмы поршневого типа создают на валу двигателя периодически изменяющийся момент сопротивления, что вызывает колебание ротора двигателя и может привести к выпаданию синхронного двигателя из синхронизма. В целях уменьшения влияния этого колебания и исключения возможности выпадания двигателя из синхронизма в механизмах данного типа устанавливают специальные тихоходные синхронные двигатели с большой перегрузочной способностью, повышенным моментом инерции и большими значениями входного (предсинхронного) момента.

Следует отметить, что в механизмах с большим моментом инерции (например, мощных вентиляторных установках) использование синхронных двигателей не всегда возможно. Это объясняется тем, что при пуске потери энергии в пусковой обмотке двигателя могут превышать допустимые.

В настоящее время наряду с питанием обмоток возбуждения синхронных двигателей от генераторов постоянного тока широко применяются тиристорные возбудительные устройства, поставляемые в комплектном виде. По сравнению с электромашинными возбудителями они более надежны, имеют высокий к. п. д. и отличаются высоким быстродействием.

Тиристорные возбудители могут выполнять следующие функции: пуск двигателя с включением и отключением пускового резистора в цепи обмотки возбуждения; подачу напряжения возбуждения при пуске двигателя в зависимости от времени или от тока статора; ручное и автоматическое регулирование тока возбуждения; форсирование возбуждения при снижении напряжения сети и резких набросах нагрузки на валу; форсированное гашение поля возбуждения при нормальных и аварийных отключениях электродвигателя; защиту ротора от коротких замыканий и длительной перегрузки по току; защиту пускового резистора от перегрева и тиристорного преобразователя от токов короткого замыкания.

На рис. 7.7 в качестве примера показана функциональная схема тиристорного возбудителя серии ТВУ (заменяется серией КВУ), включающая в себя элементы питания, управления, регулирования и их связи. Питание тиристорного преобразователя СУВ осуществляется от сети переменного тока напряжением 380 В через автомат АВ1 и трансформатор ТСВ. Кроме того, от этой же сети через контакт контактора К и автомат АВ2 питаются асинхронный двигатель АД вентилятора, охлаждающего тиристоры, и блок питания БП схем управления, регулирования и защиты.

Перед пуском синхронного двигателя СД вручную включают автоматы АВ1 и АВ2, затем масляный выключатель ВМ. От блок-контактов последнего приводится в действие пусковая схема СП и включается контактор К (катушка этого контактора на схеме не показана). В последующем все операции в системе возбуждения происходят автоматически.

В процессе разгона синхронного двигателя тиристорный преобразователь СУВ заперт. На управляющие электроды тиристоров Т1, ..., Т3 через диоды Д1, ..., Д3 и стабилитроны СТ1, ..., СТ3

В нормальном режиме работы синхронного двигателя регулирование напряжения возбуждения может осуществляться вручную регулятором либо автоматически с помощью устройства автоматического регулирования возбуждения *АРВ*. Датчиками *АРВ* служат трансформатор напряжения *ТН* и трансформатор тока *ТТ1*. Форсирование возбуждения синхронного двигателя осуществляется воздействием управляющего устройства *УУ* на фазоимпульсное устройство *ФИУ* как при ручном, так и при автоматическом регулировании. Длительность форсирования ограничивается блоком ограничения форсирования *БОФ* в заданных пределах. Датчиком тока ротора служит трансформатор постоянного тока *ТПТ1*.

Гашение поля возбуждения синхронного двигателя производится переводом преобразователя *СУВ* в инверторный режим при нормальных и аварийных отключениях двигателя. Блок-контакты масляного выключателя *ВМ* включают схему гашения *СГ*, которая через *УУ* сдвигает импульсы управления тиристорами.

Для защиты тириستоров преобразователя от токов короткого замыкания (внутренних и внешних) служит блок *БЗК*, который отключает импульсные устройства, как только ток во вторичной обмотке трансформатора *ТСВ* превысит уставку. Одновременно подается сигнал на отключение масляного выключателя *ВМ* и блока питания *БП*. Защита преобразователя от перенапряжений осуществляется фильтром *Ф*.

Резервным элементом защиты является автомат *АВ1*. Исполнительным органом всех защит, действующих на отключение масляного выключателя, служит выходное реле защиты (на схеме

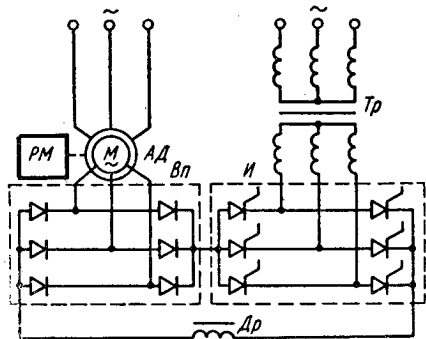


Рис. 7.8. Принципиальная схема АВК

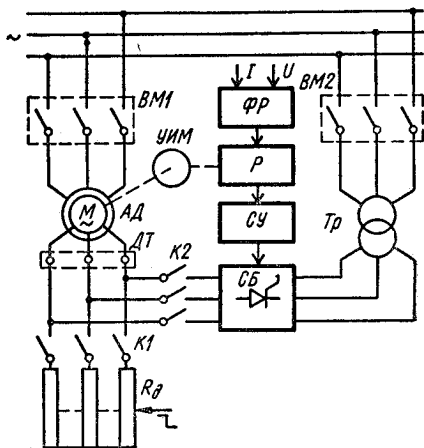


Рис. 7.9. Функциональная схема системы электропривода с машиной двойного питания: *ВМ1*, *ВМ2* — масляные выключатели; *АД* — асинхронный двигатель с фазным ротором; *УИМ* — углоизмерительная машина; *ФР* — фазорегулирующее устройство; *Р* — регулятор; *СУ* — система управления; *СВ* — силовой тиристорный блок преобразователя частоты; *Тр* — трансформатор; *ДТ* — датчик тока; *К1*, *К2* — контакты контакторов; *R_д* — добавочное сопротивление

не показано). Суммирование всех сигналов, поступающих от блоков защит, управления и от АРВ, происходит в управляющем устройстве УУ. В УУ от блока уставок БУ введены напряжения, определяющие максимальные и минимальные углы регулирования, а также угол регулирования при инвертировании.

Сигнал из управляющего устройства УУ подается в фазо-импульсное устройство ФИУ, которое генерирует импульсы управления тиристорами преобразователя СУВ.

В механизмах, требующих регулирования подачи, могут применяться различные системы регулируемого электропривода. Для установок малой и средней мощности возможны его следующие варианты: асинхронный привод с двигателем, имеющим короткозамкнутый ротор, и дросселями насыщения или тиристорным регулятором напряжения в цепи статора; такой же привод в сочетании с электромагнитной муфтой скольжения; асинхронный привод с двигателем, имеющим фазный ротор; привод по системе «тиристорный преобразователь частоты — двигатель переменного тока». Для установок средней и большой мощности могут использоваться: система «генератор—двигатель» (Г—Д), система «управляемый вентильный преобразователь—двигатель постоянного тока» (УВП—Д), вентильно-машинные и асинхронно-вентильные каскады (АВК).

В быстросходных механизмах с вентиляторной нагрузкой при относительно неглубоком регулировании частоты вращения (порядка 15...25% вниз от номинальной) весьма перспективно применение АВК, простейшая принципиальная схема которого изображена на рис. 7.8. В роторную цепь асинхронного двигателя АД включен неуправляемый выпрямитель *Вп*. Регулирование частоты вращения двигателя основано на введении добавочной э. д. с. в ротор и осуществляется изменением угла опережения открывания инвертора *И*. При регулировании скорости рабочего механизма РМ энергия скольжения не теряется, а за вычетом потерь возвращается в сеть.

Перспективно также использование систем частотного регулирования, в частности системы электропривода с машиной двойного питания (рис. 7.9), обеспечивающей двухзонное регулирование скорости (вверх и вниз от номинальной).

7.4. СХЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСНЫХ УСТАНОВОК

На рис. 7.10 показана принципиальная схема простейшей насосной установки — дренажного насоса. Схемой предусматривается два вида управления — *ручное (местное)* и *автоматическое*. Выбор режима управления осуществляется универсальным переключателем ПУ. Если последний установлен в левое положение, то управление асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором производится с помощью кнопок *КнП* и *КнС* (ручное управление). При автоматическом управлении (переключатель ПУ

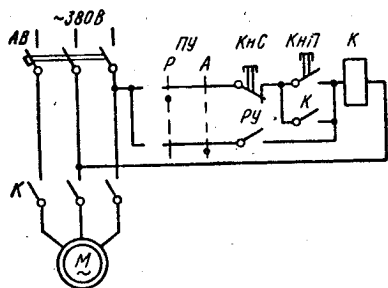


Рис. 7.10. Принципиальная схема дренажного насоса

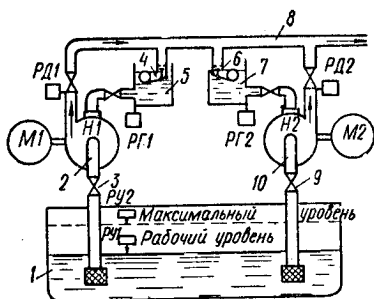


Рис. 7.11. Гидравлическая схема водоотливной насосной установки

переведен в правое положение) управление двигателем насоса осуществляется от датчика уровня (поплавкового реле) *РУ*.

Когда уровень воды в емкости, из которой она откачивается, достигает заданного значения, контакт *РУ* замыкается, контактор *К* срабатывает и двигатель насоса включается. При снижении уровня воды до определенного значения (меньшего, чем при включении насоса) контакт *РУ* размыкается, катушка контактора *К* обесточивается и двигатель насоса отключается. Защита двигателя от коротких замыканий и перегрузок обеспечивается автоматом *АВ*, минимальная защита — самим контактором *К*.

Рассмотрим электропривод более сложной насосной установки, гидравлическая схема которой изображена на рис. 7.11. Из водосборного бассейна 1 насосы *Н1*, *Н2* перекачивают воду в напорную магистраль 8. Для привода насосов используются низковольтные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором *М1* и *М2*. Насосы и всасывающие трубопроводы 2 и 10, в которых установлены обратные клапаны 3 и 9, при пуске заполняются водой из заливных баков 5 и 7. Требуемый уровень воды в баках обеспечивается поплавковыми клапанами 4, 6 и контролируется гидравлическими реле *РГ1*, *РГ2*. Реле давления *РД1* и *РД2*, установленные в нагнетающей линии каждого насоса, отключают двигатели *М1* и *М2* при давлении, меньшем заданного. Поплавок-реле уровня *РУ1* и *РУ2* предназначены для автоматизации работы установки. Первое из них дает импульс на включение одного из двигателей при рабочем уровне воды в бассейне, второе обеспечивает одновременную работу насосов при аварийном уровне.

Электрической схемой (рис. 7.12) предусматриваются автоматический и неавтоматический режимы работы. В последнем случае включение насосов возможно как дистанционное с диспетчерского пункта, так и местное кнопочное. Режим работы насосов определяется положением универсальных переключателей *ПУ2*, *ПУ3*. С помощью универсальных переключателей мест управления *ПУ4*, *ПУ5* выбирается дистанционное или местное управление, а также исключается возможность одновременного автома-

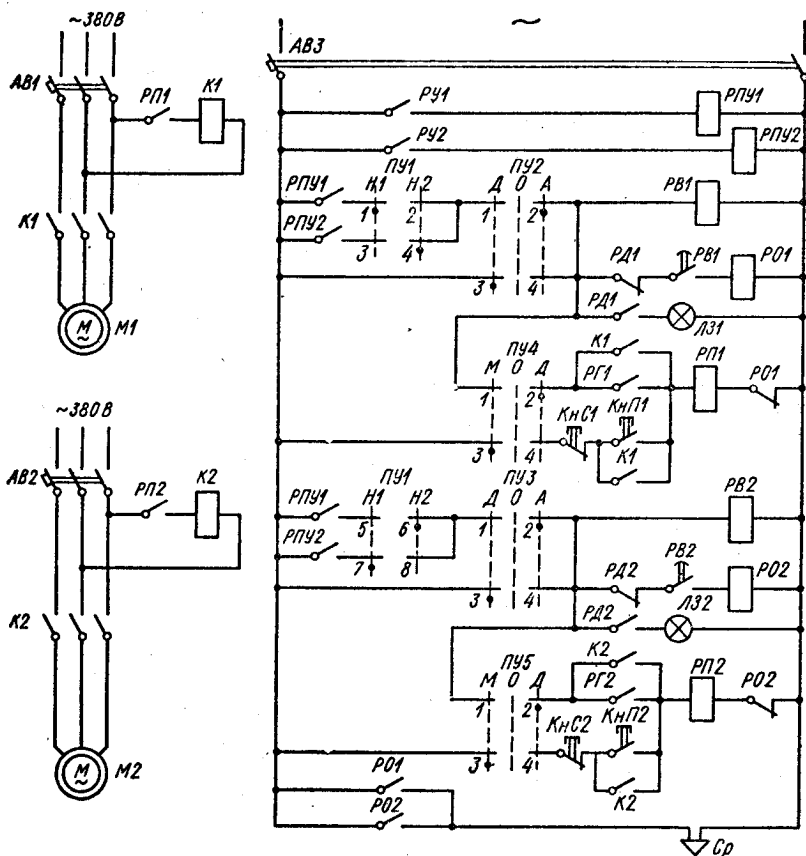


Рис. 7.12. Принципиальная схема водоотливной насосной установки

тического и местного кнопочного управления. Универсальным переключателем ПУ1 устанавливается очередность включения двигателей М1, М2 при изменении уровня воды, т. е. определяется, какой из насосов будет включаться при рабочем уровне, а какой при аварийном.

При автоматическом режиме работы, представляющим наибольший интерес, переключатели ПУ2 и ПУ3 устанавливают в положение «А», а переключатели ПУ4 и ПУ5 — в положение «Д». Пусть в качестве рабочего выбран насос Н1 (переключатель ПУ1 находится в положении «Н1»). При достижении воды в бассейне рабочего уровня (см. рис. 7.11) замыкается контакт поплавкового реле РУ1, что приводит к включению промежуточного реле уровня РПУ1. Катушка промежуточного реле РП1 получает питание по цепи: замыкающий контакт РПУ1 — контакты 1—2 переключателей ПУ1, ПУ2, ПУ4 — закрытый замыкающий контакт реле РГ1 — размыкающий контакт реле отключения РО1.

Если в качестве рабочего выбран насос H_2 (переключатель $ПУ1$ находится в положении « H_2 »), то схема функционирует аналогично, лишь изменяется последовательность включения и отключения двигателей.

При дистанционном управлении с диспетчерского пункта пуск двигателей M_1 и M_2 осуществляется соответственно переключателями $ПУ2$ и $ПУ3$ установкой их в положение « D ».

На рис. 7.13 показана одна из типовых принципиальных схем электропривода задвижки, устанавливаемой в напорном трубопроводе насоса. Ее открывание и закрывание производится асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором D_3 через редуктор. Возможно как автоматическое, так и дистанционное управление двигателем. Требуемый режим работы выбирается универсальным переключателем $ПУ$.

При автоматическом управлении (переключатель $ПУ$ установлен в правое положение) схема работает следующим образом. Когда жидкость в контролируемой емкости (баке, бассейне), из которой производится откачка, достигает заданного уровня, реле уровня $РУ$ замыкает один из своих контактов в цепи управления двигателем насоса (см., например, рис. 7.12), а другой — в цепи промежуточного реле $РП1$ двигателя задвижки. После завершения пуска насоса в нагнетающей линии создается необходимое давление и реле давления $РД$ замыкает свой контакт в цепи катушки реле $РП1$. Последнее срабатывает, замыкая свой контакт в цепи катушки контактора открывания задвижки $КО$ и размыкая контакт в цепи катушки контактора закрывания задвижки $КЗ$. Контактор $КО$ главными контактами включает двигатель D_3 , который начинает открывать задвижку. Размыкающийся блок-контакт контактора $КО$ в цепи катушки контактора $КЗ$ размыкается (электрическая блокировка), а замыкающий в цепи сигнальной лампы $ЛК$ замыкается, шунтируя часть резистора. Разомкнутый при закрытой задвижке контакт конечного выключателя $ВК1$ замыкается. При подаче напряжения на схему и в процессе открывания задвижки сигнальная лампа $ЛЗ$ горит тускло. Когда задвижка полностью открывается, концевой выключатель $ВК2$ размыкает свой контакт, отключая контактор $КО$. Двигатель D_3 останавливается, тускло горевшая лампа $ЛЗ$ гаснет и тускло гореть начинает лампа $ЛК$.

Процесс открывания задвижки, кроме концевых выключателей $ВК2$ и сигнальных ламп $ЛЗ$ и $ЛК$, контролируется также концевым выключателем $ВКА$. Последний, размыкая свой контакт в аварийном состоянии задвижки, отключает всю цепь управления двигателем D_3 , о чем сигнализирует погасание ламп $ЛЗ$ и $ЛК$. Замыкание размыкающего контакта выключателя $ВК2$ осуществляется путем воздействия на ручной привод задвижки при ее закрывании.

Закрывание задвижки происходит при остановке насоса. Сигналы на закрывание поступают от реле уровня $РУ$ и реле давления $РД$, контакты которых в цепи катушек реле $РП1$ размыкаются.

Реле РП1 обесточивается и замыкает свой контакт в цепи катушки контактора КЗ, который срабатывает и включает двигатель ДЗ на противоположное направление вращения. При этом задвижка закрывается, контакт концевого выключателя ВК2 замыкается, лампа ЛЗ начинает гореть ярко, а лампа ЛК — тускло. После закрытия задвижки концевой выключатель ВК1 размыкает свой контакт и двигатель ДЗ отключается. Лампа ЛК гаснет, а лампа ЛЗ горит тускло.

Дистанционное управление двигателем задвижки (переключатель ПУ установлен в левое положение) обеспечивается кнопками КнПО, КнПЗ и КнС. Предусмотрено и ручное открывание и закрытие задвижки, но возможность дистанционного и автоматического управления задвижкой при работе в этом режиме исключается. Для этого в схеме предусмотрена блокировка, осуществляемая путем размыкания контакта концевого выключателя ВКР.

7.5. СХЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ВЕНТИЛЯТОРНЫХ УСТАНОВОК

На рис. 7.14 изображена принципиальная схема электропривода вентилятора системы независимой вентиляции электрических машин большой мощности. Ключ К1 предназначен для разрешения или, если нет необходимости в работе, запрещения включения вентилятора. С помощью ключа К2, имеющего рукоятку с самовозвратом, осуществляется управление электродвигателем вентилятора.

Рассмотрим, как работает схема, когда ключ К1 установлен в положение «Р» («разрешено») и включены автоматы АВ1,

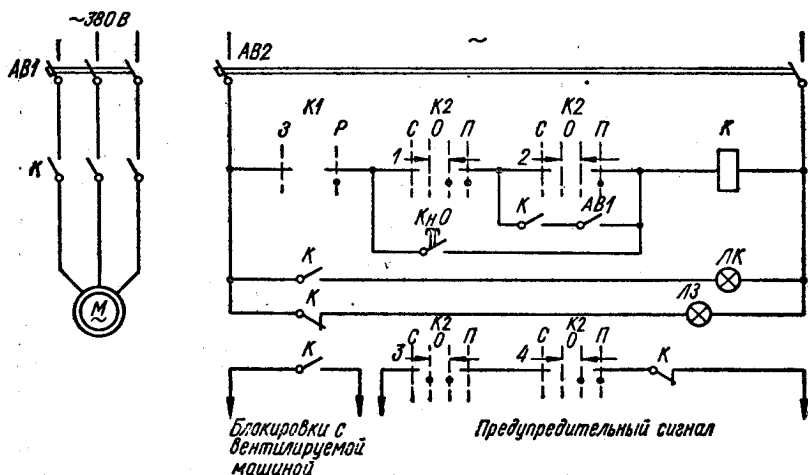


Рис. 7.14. Принципиальная схема электропривода вентиляторной установки

плекта аппаратуры УКАВ-2. Данная аппаратура может быть применена в вентиляторах различных типов (осевых и центробежных) с асинхронными и синхронными двигателями напряжением до и свыше 1000 В для обеспечения выполнения всех технологических и эксплуатационных требований, предъявляемых к современным шахтным вентиляторным установкам.

Комплект аппаратуры УКАВ-2 позволяет, в частности, осуществить: выбор одного из трех видов управления (автоматизированное из машинного зала или с пульта диспетчера и ручное); выбор нормального или реверсивного режима проветривания; автоматическое включение резервного вентилятора при аварийном отключении работавшего; автоматическое повторное включение при кратковременном отключении питающего напряжения; автоматический контроль за работой и отключение вентиляторной установки при возникновении аварийных ситуаций с подачей звуковых и световых сигналов.

Рассмотрим кратко работу схем, изображенных на рис. 7.15 и 7.16. Перед пуском установки необходимо выполнить следующие операции: включить разъединители и автоматы питания силовых цепей и цепей управления; установить переключателем *KPP* вид управления, а переключателем *УПМ* — режим работы вентилятора (нормальный или реверсивный); выбрать переключателем *УПН* рабочий маслонасос; включить ремонтный выключатель *УПО* и переключатель *УПА*.

Пусть выбраны автоматизированное управление из машинного зала (переключатель *KPP* установлен в положение «*М*»), режим работы вентилятора — нормальный (переключатель *УПМ* — в положении «*Н*»), а рабочим является первый маслонасос (переключатель *УПН* — в положении «*НА1*»).

Пуск установки осуществляется кнопкой *КнПМ*, при нажатии которой включается реле *РПН*. Последнее своими контактами включает реле *РПП* и подготавливает цепь реле *РМН*. Реле *РПП* включает реле пуска *РП*, моторное реле контроля разгона *РКР*, пускатель рабочего маслонасоса *ПМ1*, реле времени *РВ* и подает питание на реле частоты вращения вентилятора *РВВ*.

Реле *РП* своими контактами замыкает цепь катушки пуска тормоза *ПЭ*, шунтирует контакты *РКО* и *РРЛ* в цепи реле *РПН*, подготавливает цепь реле отключения *РО*. Реле *РКР* замыкает свои контакты *РКР1* в цепи реле контроля пуска *РКЛ* с выдержкой времени 10 мин и *РКР2* в цепи реле включения резервного маслонасоса *РРМ* с выдержкой времени 3 мин. Если маслосистема работает нормально (замкнуты контакты электроконтактных манометров *ЭКМ1*, ..., *ЭКМ3* и разомкнуты контакты струйных реле *РС1*, *РС2*), то включается реле контроля давления и притока масла *РЭМ*. Последнее своими контактами включает реле контроля маслосистемы *РКМ* и разрывает цепь реле включения резервного маслонасоса *РРМ*. Реле *РКМ*, срабатывая, подготавливает цепь включения реле пуска вентилято-

ра *РМН*. Реле времени *РВ* замыкает свои контакты в цепях реле *РПН*, *РВ* и размыкает в цепи пускателя включения тормоза *ПЭ*.

Закрывание направляющего аппарата контролируется концевым выключателем *ВКМ1*, который при закрытом аппарате включает реле контроля положения направляющего аппарата *РНА*, подготавливающее цепь включения реле пуска вентилятора *РМН*. Реле *РНА* включает привод ляд, правильность установки которых контролируется концевыми выключателями *КВ1*, ..., *КВ6*.

После подготовки вспомогательными приводами вентилятора к пуску включается реле пуска *РМН*, которое включает контактор пуска *КП* (на рис. 7.16 не показан), подающий напряжение на электромагнит включения масляного выключателя *ВМ1* (рис. 7.15). Статор двигателя *СД* подключается к сети. Масляный выключатель *ВМ1* размыкает свой блок-контакт в цепи электромагнита тормоза *ПЭ* и замыкает контакт в цепи реле размножения контактов *РРЛ*. Последнее включается и подготавливает реле аварийного отключения *РОА* (на рис. 7.16 не показано), замыкая свой контакт в цепи сигнальной лампы *ЛО1* и размыкая контакт в цепи реле *РПН* (*РПР*).

Возбуждение синхронного двигателя возможно как от электромашиного возбудителя, так и, что предпочтительнее, от тиристорного возбудительного устройства. Вариант с питанием обмотки возбуждения от тиристорного возбудителя подробно рассмотрен в § 7.3 (см. рис. 7.7).

При возбуждении от электромашиного возбудителя реле *РРЛ* подготавливает цепь включения контактора форсирования *КФ* и контактора возбуждения *КВ* (катушки этих контакторов на рис. 7.15 не показаны). При достижении двигателем *СД* подсинхронной частоты вращения включается контактор *КВ*, который своими контактами шунтирует разрядное сопротивление *СГ* и подключает обмотку ротора двигателя к возбудителю. Двигатель входит в синхронизм. Вхождение в синхронизм производится при форсировании возбуждения (резистор *РВД* шунтируется контактом *КФ*).

После достижения вентилятором определенной частоты вращения реле скорости *РСВ*, срабатывая, включает реле контроля частоты вращения *РКО*, которое отключает реле пуска *РПН*. На этом пуск вентиляторной установки заканчивается.

Остановка агрегата может производиться из машинного зала или с пульта диспетчера. При нажатии кнопки *КнСМ* (*КнСД*) включается реле отключения *РО*, которое самоблокируется, размыкает свои контакты в цепях реле *РВ*, *РПН* (*РПР*) и включает соленоид отключения масляного выключателя. Статор синхронного двигателя отключается от сети и вентилятор останавливается. Направляющий аппарат закрывается, контакт концевого выключателя *ВКМ1* в цепи катушки реле *РНА* замыкается. Получает питание катушка *ПЭ* пускателя включения тормоза. Накладываются тормоза и удерживаются до тех пор, пока реле скоро-

сти РСВ не разорвет свой контакт в цепи катушки ПЭ. Схема приводится в исходное состояние.

Аварийная остановка вентиляторной установки осуществляется с помощью реле РОА, которое включает реле РО. При этом подается звуковая и световая сигнализация.

Для реверса вентилятора его необходимо сначала остановить, а затем, изменив режим работы, осуществить пуск.

Аппаратурой УКАВ-2 предусмотрены различные блокировки (невозможность самопроизвольного включения электропривода без команды на пуск, невозможность осуществления двух режимов работы и другие), защита от аварийных режимов, разные виды контроля и сигнализации.

7.6. СХЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА КОМПРЕССОРНЫХ УСТАНОВОК

На рис. 7.17 показана технологическая схема компрессорной установки с двумя компрессорами 2 и 7, приводимыми в движение асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором 6 и 11. По трубопроводу 9 сжатый воздух поступает в ресиверы 12 (промежуточные резервуары-воздухосборники), предназначенные для сглаживания колебания давления, улавливания влаги и масла, а также хранения некоторого запаса сжатого воздуха. К потребителям сжатый воздух поступает по трубопроводу 14. Трубопроводы 1, 4, 5 и 10 служат для циркуляции охлаждающей воды. Обратные клапаны 3 и 8 исключают работу одного компрессора на другой при разных давлениях воздуха на выходе компрессоров. Электроконтактные манометры 13 являются датчиками автоматического управления. Подвижные контакты их устанавливаются на определенные верхние и нижние пределы давлений в ресиверах 12. При этом верхние пределы для обоих манометров могут быть одинаковыми, а нижние устанавливаются различными. Когда давление достигает верхнего предела, компрессоры отключаются. В случае снижения

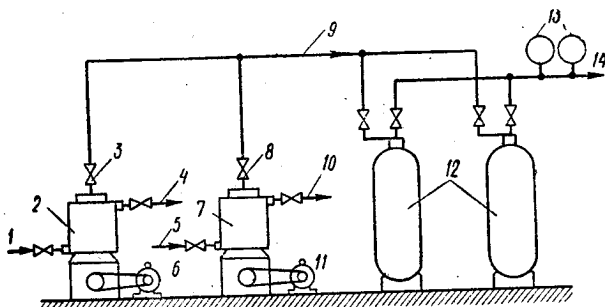


Рис. 7.17. Технологическая схема компрессорной установки

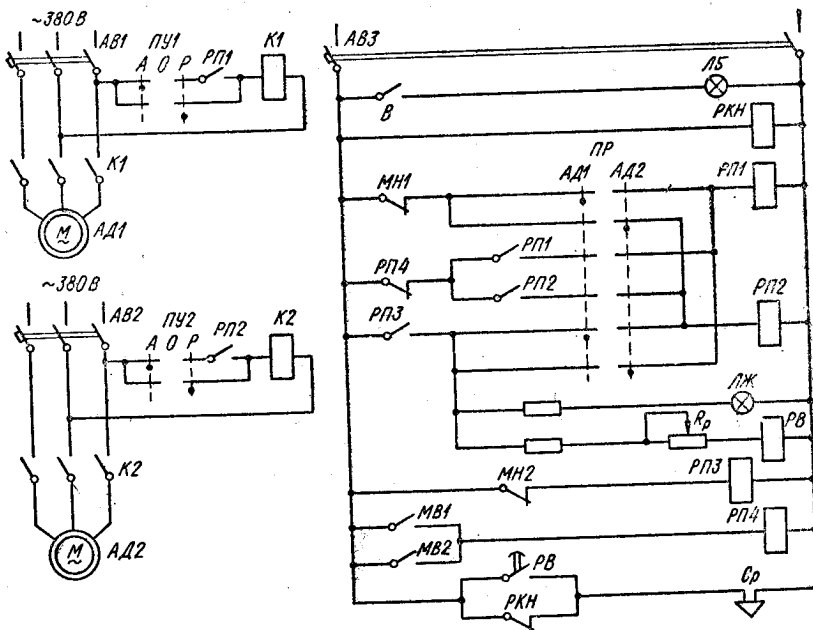


Рис. 7.18. Принципиальная схема компрессорной установки

давления вначале включается только один компрессор, а затем при дальнейшем падении давления и другой.

Принципиальная схема компрессорной установки, которой соответствует рассмотренная технологическая схема, изображена на рис. 7.18. Двигатели АД1, АД2 подключаются к сети контакторами К1, К2 через автоматы АВ1 и АВ2, имеющие тепловую и максимальную защиты. Цепи управления питаются через автомат АВ3, обеспечивающий максимальную защиту.

Схемой предусматриваются два вида управления — ручное и автоматическое. Выбор того или иного из них производится универсальными переключателями ПУ1, ПУ2. При ручном управлении (ПУ1, ПУ2 установлены в положение «Р») включение и отключение контакторов К1, К2 осуществляются непосредственно переключателями ПУ1, ПУ2. При автоматическом управлении (ПУ1, ПУ2 установлены в положение «А») контакторы К1, К2 включаются с помощью промежуточных реле РП1, РП2. Очередность включения компрессоров при давлении в ресиверах, меньшем заданного верхнего предела, устанавливается посредством переключателя режима ПР. Предположим, что сначала при снижении давления должен включиться первый компрессор (ПР установлен в положение «АД1»). Условимся также, что нижний предел давления первого манометра (см. рис. 7.17) больше, чем второго.

Когда давление в ресиверах равно верхнему пределу, оба компрессора отключены. В последующем вследствие потребления воздуха давление будет падать. При снижении давления до нижнего предела, измеряемого первым манометром, контакт *МН1* замыкается. Получает питание катушка реле *РП1*, которое срабатывает и своим контактом включает контактор *К1*. Двигатель *АД1* подключается к сети. В результате работы первого компрессора давление в ресиверах будет расти и контакт *МН1* размыкается. Однако это не приводит к отключению первого компрессора, так как цепь контакта *МН1* шунтирована замкнутыми контактами *РП4* и *РП1*. При повышении давления в ресиверах до верхнего предела замыкается контакт *МВ1* (если верхние пределы давления обоих манометров одинаковы, то замкнется также и контакт *МВ2*). Реле *РП4* срабатывает, реле *РП1* обесточивается и двигатель *АД1* первого компрессора отключается.

Если же при работающем первом компрессоре вследствие его недостаточной подачи или неисправности давление в ресивере будет продолжать снижаться и достигнет нижнего предела, измеряемого вторым компрессором, то контакт *МН2* замыкается и срабатывает реле *РП3*. Последнее включает реле *РП2*, которое замыкает цепь катушки контактора *К2* двигателя *АД2* второго компрессора. Следовательно, будут работать оба компрессора. По мере повышения давления вначале размыкается контакт *МН2* в цепи *РП3*, затем *МН1* в цепи *РП1* (реле *РП1*, *РП2* при этом не обесточиваются), а при повышении давления до верхнего предела замыкаются контакты *МВ1* и *МВ2* (если верхние пределы давления обоих манометров одинаковы), что через реле *РП4*, *РП1* и *РП2* приводит к отключению двигателей *АД1* и *АД2*.

Следует заметить, что при срабатывании реле *РП3* получают питание сигнальная лампа *ЛЖ* и реле времени *РВ*. Выдержка времени последнего выбрана таким образом, что при нормальной работе компрессорной установки до замыкания контакта *РВ* в цепи сирены *Ср* реле *РП3* обесточивается и размыкает свой контакт в цепи *РВ*.

В схеме предусмотрен контроль работы агрегата. Если при двух работающих компрессорах давление в ресиверах продолжает падать и становится меньше нижнего предела, измеряемого вторым манометром, то контакт *МН2* будет замкнут и реле *РП3* останется включенным. При этом горит сигнальная лампа *ЛЖ*, получает питание реле времени *РВ*, которое с выдержкой времени замыкает свой контакт в цепи сирены *Ср*. Сигнальная лампа *ЛБ* и реле *РКН* предназначены для контроля напряжения в цепях управления.

В компрессорных установках большой подачи применяется электропривод с синхронными двигателями. На рис. 7.19 показана упрощенная принципиальная схема управления синхронным двигателем поршневого компрессора. Статор двигателя *СД* подключается к сети напряжением 6 кВ посредством масляного

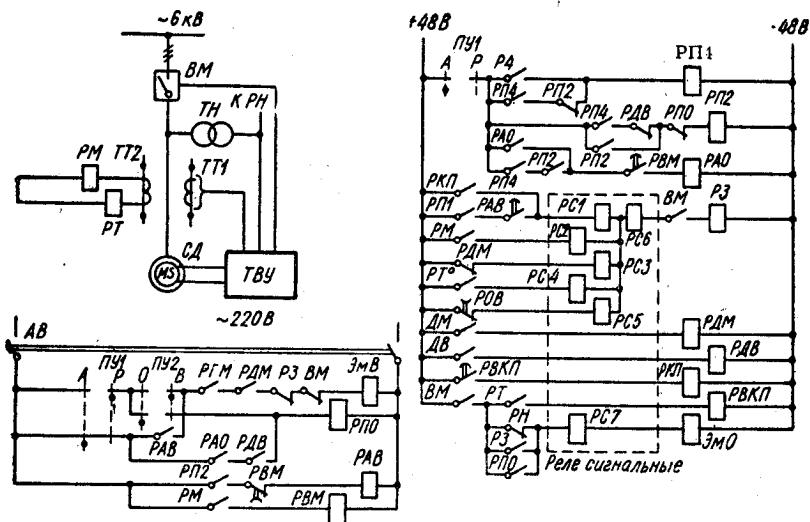


Рис. 7.19. Упрощенная принципиальная схема управления синхронным двигателем поршневого компрессора

выключателя *ВМ* с помощью включающего электромагнита *ЭМВ*. Отключение выключателя *ВМ* осуществляется посредством отключающего электромагнита *ЭМО*. Обмотка возбуждения двигателя получает питание от тиристорного возбудительного устройства *ТВУ*, функции и принцип работы которого подробно рассмотрены в § 7.3 (см. рис. 7.7).

Схема предусматривает автоматическое включение и отключение компрессора в зависимости от суточного графика потребления воздуха и давления в воздушной магистрали. Кроме автоматического, возможно и ручное управление двигателем. Выбор того или иного из видов управления осуществляется переключателем *ПУ1*.

При ручном управлении (*ПУ1* установлен в положение «*Р*») команда на включение масляного выключателя *ВМ* дается переключателем *ПУ2*. Включение *ВМ* возможно, если в цепи включающего электромагнита *ЭМВ* замкнуты контакты промежуточного реле *РП1*, реле давления масла *РДМ* и реле защиты *РЗ*. Пуск двигателя *СД* производится вхолостую при открытых пусковой и рабочей воздушных задвижках компрессора. Этому соответствует замкнутое состояние контактов реле *РП1* (катушка реле *РП1* на схеме не показана). После завершения пуска двигателя задвижки закрываются и компрессор подключается к ресиверу.

В цепь катушки защитного реле *РЗ* введены контакты различных реле и датчиков, контролирующих нормальную работу двигателя и компрессора: *РКП* — реле контроля пуска; *РП1* — промежуточное реле контроля положения задвижек; *РАВ* — реле автоматического включения; *РМ* — реле максимального тока;

РДМ — реле давления масла; *РТ* — датчик температуры масла; *РОВ* — реле времени, сигнализирующее об исчезновении охлаждающей воды (катушка реле *РОВ* на схеме не показана). Реле *РКП* действует совместно с реле времени контроля пуска *РВКП* и замыкает свой контакт в случае затянувшегося пуска. Если пуск нормален, то к моменту замыкания контакта *ВМ* в цепи катушки реле *РВКП* контакт реле тока *РТ*, замкнувшийся в начале пуска, будет уже разомкнут и реле *РВКП* питания не получит. Реле *РЗ* замыкает свой контакт в цепи отключающего электромагнита *ЭМО* и двигатель *СД* отключается в тех случаях, когда цепь питания катушки *РЗ* замыкается через контакты соответствующих защитных реле и датчиков. Электромагнит *ЭМО* получает питание также при исчезновении или значительном снижении напряжения в силовой цепи (контакт реле напряжения *РН* при этом будет замкнут) и срабатывании промежуточного реле отключения *РПО*. Сигнальные реле *РС1, ..., РС7* указывают причину отключения двигателя *СД*.

При автоматическом управлении (переключатель *ПУ1* установлен в положение «А») включение двигателя *СД* производится из диспетчерского пункта часовым механизмом, который может последовательно вводить в работу компрессоры в соответствии с графиком суточного потребления сжатого воздуха предприятием. Контакт *Р4* часового механизма включает промежуточное реле *РП4*, которое замыкает свои контакты в цепях катушек промежуточного реле *РП2* и реле автоматического отключения *РАВ*. После срабатывания реле *РП4* контакт *Р4* будет зашунтирован замкнутыми контактами реле *РП4* и *РП2*.

При снижении давления в воздушной магистрали датчик давления воздуха *ДВ* своим разомкнувшимся контактом подает сигнал на отключение реле давления воздуха *РДВ*, которое размыкает свой контакт в цепи катушки промежуточного реле отключения *РПО* и замыкает контакт в цепи катушки реле *РП2*. Реле *РП2* получает питание, замыкает свои контакты в цепях катушек реле автоматического включения *РАВ*, реле *РАО* и размыкает контакт в цепи катушки реле *РП4*. Последнее отключается, а реле *РАВ*, замкнув свой контакт, подводит питание к включающему электромагниту *ЭМВ* масляного выключателя *ВМ*. Двигатель подключается к сети.

Последующее замыкание контакта *Р4* часового механизма вызывает срабатывание реле *РАО*, контакт которого в цепи реле *РПО* замыкается. Однако сигнал на отключение масляного выключателя реле *РПО* подает только после того, как давление в магистрали становится равным давлению, при котором получает питание реле *РДВ*.

7.7. ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НАСОСНЫХ, ВЕНТИЛЯТОРНЫХ И КОМПРЕССОРНЫХ УСТАНОВОК

Электродвигатели насосов, вентиляторов и компрессоров работают, как правило, в продолжительном режиме с редкими пусками. Характер нагрузки обычно ровный, особенно для установок большой мощности. Толчки нагрузки имеют место лишь при пуске. В зависимости от мощности двигателя питаются напряжением от 0,22 до 10 кВ.

По бесперебойности электроснабжения насосные, вентиляторные и компрессорные установки чаще всего относятся к потребителям первой (например, питательные, циркуляционные и конденсатные насосы тепловых электростанций; вентиляторы главного проветривания шахт; компрессоры магистральных газопроводов) или второй (участковый шахтный водоотлив с притоками воды более 50 м³/ч; компрессорная станция для шахт, где пневмоэнергия не является основным видом энергии) категории. Число независимых источников питания электроэнергией определяется категорией электроприемников.

При использовании электроприводов с вентильными преобразователями необходимо учитывать отрицательное влияние последних на питающую сеть, которое заключается в нелинейном искажении питающего напряжения, снижении коэффициента мощности, мгновенной передаче в энергосистему любого изменения нагрузки и др. В целях улучшения энергетических показателей вентильных электроприводов постоянного и переменного тока целесообразно применять усложненные схемы управления преобразователями, позволяющие заметно повысить коэффициент мощности. Задача снижения нелинейного искажения напряжения может быть решена установкой фильтров высших гармоник.

В электроприводе насосных, вентиляторных и компрессорных установок средней и большой мощности, не требующих регулирования подачи, обычно используются синхронные двигатели. Одним из достоинств их является возможность быть источником реактивной энергии, что позволяет повысить коэффициент мощности предприятия. Как средство улучшения энергоснабжения синхронные двигатели наиболее эффективны при питании их обмоток возбуждения от тиристорных преобразователей, когда возможно поддержание даже мгновенного значения коэффициента мощности установок.

**8.1. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
ВИДОВ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ
НА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКАХ**

Металлорежущие станки являются весьма распространенной группой электрифицированных машин, предназначенных для обработки металла с помощью одного или нескольких режущих инструментов. Обработка заготовок металла производится в основном путем снятия стружки.

По признакам технологического процесса обработки металла, определяющим способ обработки, виду режущего инструмента и характеру его движения металлорежущие станки делятся на следующие основные группы: *токарные, сверлильно-расточные, фрезерные, строгальные и шлифовальные.*

Металлорежущие станки подразделяются также по признакам производственного процесса: *универсальные* — для различной обработки (точение, сверление, нарезание резьбы и др.) многих изделий; *специализированные* — для обработки деталей, сходных по конфигурации, но разных по размерам, например зубо- и резьбообрабатывающие станки; *специальные* — для обработки одной определенной детали.

В зависимости от требуемой точности обработки поверхности изделий станки изготавливают *нормальной, высокой и особо высокой* точности (прецизионные).

Станки в зависимости от размеров и массы обрабатываемых изделий бывают *нормальные* (до 10 т), *крупные* (от 10 до 30 т), *тяжелые* (от 30 до 100 т) и *уникальные* (свыше 100 т).

Для обработки изделий на металлорежущих станках необходимо обеспечить передвижение режущей кромки инструмента относительно заготовки. В станках различают *главное* движение, при котором происходит резание металла инструментом, и движение *подачи*, обеспечивающее перемещение детали или инструмента для резания слоя металла. Это так называемые *основные*, или *рабочие*, движения. Кроме них, в станках должны быть обеспечены *вспомогательные* движения и предусмотрены устройства, необходимые для установки, зажима и перемещения инструмента, контроля операций при обработке, закрепления и снятия заготовки, наладочных операций, охлаждения, смазки и др.

На рис. 8.1 показаны различные способы обработки металлов на металлорежущих станках. При токарной обработке (рис. 8.1, а) главное движение *I* осуществляется вращением заготовки *З*,

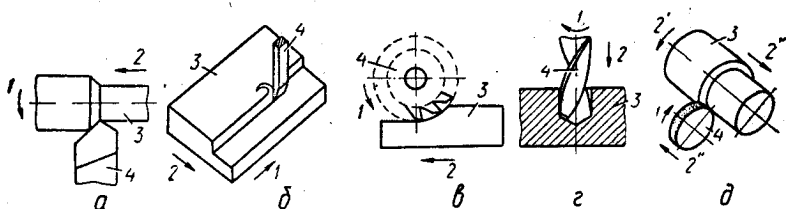


Рис. 8.1. Типовые способы обработки металлов на металлорежущих станках

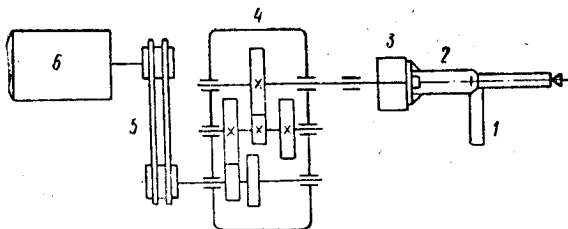


Рис. 8.2. Типовая кинематическая схема коробки скоростей токарного станка с двухскоростным электродвигателем:

1 — резец; 2 — заготовка; 3 — шпиндель; 4 — коробка скоростей; 5 — клиноременная передача; 6 — электродвигатель

а движение подачи 2 — поступательным перемещением инструмента (резца) 4. При продольном строгании (рис. 8.1, б) главное движение 1 совершает заготовка 3, а движение подачи 2 — резец 4. При фрезеровании (рис. 8.1, в) главное движение 1 осуществляется вращением инструмента — фрезы 4, а движение подачи 2 — поступательным перемещением заготовки 3. При сверлении (рис. 8.1, г) главное движение 1 и движение подачи 2 производятся одновременно вращением и поступательным перемещением инструмента — сверла 4. Заготовка 3 при этом неподвижна. При шлифовании (рис. 8.1, д) главное движение 1 осуществляется вращением инструмента — шлифовального круга 4, а движение подачи двух видов (вращательное 2' и поступательное 2'') совершает шлифовальный круг 4 или заготовка 3.

Для обеспечения требуемых главного движения и движения подачи соответствующие механизмы станка связаны с двигателями либо кинематически посредством механических передач (коробок скоростей), либо с помощью специальных электрических и гидравлических устройств. Кинематические связи бывают *внутренние* (это связи рабочих органов станка) и *внешние* (это связь рабочего органа станка с источником движения — двигателем). Так как движущиеся элементы станка входят в состав привода того или иного движения, то кинематическая связь должна соответствовать структуре привода и в свою очередь влиять на выбор электродвигателя, определяя соотношение скоростей рабочего органа станка и двигателя, моментов вращения и моментов инерции на валу двигателя, к. п. д. передачи и пр.

На рис. 8.2 изображена типовая кинематическая схема коробки скоростей токарного станка с двухскоростным электродвигателем.

Современные металлорежущие станки выпускаются в комплекте с электроприводами, осуществляющими как основные, так и вспомогательные движения в соответствии с требованиями технологического режима работы и обеспечивающими высокие технико-экономические показатели оборудования.

Стремление упростить конструкцию станка и автоматизировать его работу привело к созданию многодвигательного электропривода с использованием отдельных двигателей для вспомогательных движений — быстрого перемещения каретки суппорта, зажима изделия, вращения насоса охлаждения и т. д.

8.2. ЭЛЕКТРОПРИВОД МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

Для обработки изделий на металлорежущем станке необходимо обеспечить различные режимы резания, гарантирующие экономически выгодный технологический процесс. Отклонение от заданной скорости резания и выбранной подачи вызывает ухудшение качества обработки изделия или уменьшение производительности станка. Поэтому основным требованием, предъявляемым к электроприводам станков, является сохранение постоянства скорости резания при изменениях нагрузки, вызванных колебаниями припуска. С этой целью на станках устанавливают электродвигатели с достаточно жесткими механическими характеристиками. Станки, например шлифовальные, частота вращения шпинделя которых должна быть достаточно высокой (1000... 3000 об/мин), обычно имеют непосредственную связь вала электродвигателя со шпинделем.

Если частота вращения шпинделя требуется небольшая, то применяются либо быстроходные двигатели с механической передачей для последующего понижения частоты вращения шпинделя, либо тихоходные электродвигатели специальных конструкций. Решение принимается на основании технико-экономических сравнений ряда вариантов, с учетом следующего: чем быстроходнее двигатель, тем он меньше и дешевле, но при этом сильно усложняется механическая передача от его вала к шпинделю станка. Применение тихоходных электродвигателей упрощает конструкцию станка и повышает жесткость передачи.

Для получения экономически выгодных режимов работы металлорежущих станков необходимо обеспечить также различные скорости резания. Регулирование частоты вращения шпинделя может быть осуществлено с помощью регулируемого электропривода, механической коробки скоростей или их сочетания. Используются также и различные виды регулируемого гидропривода.

Для повышения эффективности работы современных станков, например электрокопировальных, большое значение имеют дина-

мические свойства привода, его быстрдействие и возможность быстрого изменения скорости. Кроме перечисленных требований электроприводы станков должны удовлетворять также современным требованиям надежности и экономичности в работе.

В электроприводе токарных, фрезерных, сверлильно-расточных и других станков, сравнительно редко включаемых в работу и характеризующихся небольшим диапазоном регулирования скорости, применяют наиболее простые, экономичные и надежные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором, которые сохраняют примерно постоянную частоту вращения при изменении нагрузки от холостого хода до номинальной. Используются и асинхронные двигатели с переключением числа пар полюсов для обеспечения ступенчатого регулирования частоты вращения.

Электропривод станков с большим диапазоном регулирования скорости при постоянном моменте и частых реверсах (продольно-строгательные и другие станки) выполняют по системе Г—Д или МУ—Д и применяют тиристорные преобразователи, обеспечивающие плавное регулирование скорости. В электроприводе подачи, работающем с большим диапазоном изменения скорости и повышенным статическим моментом при пуске, обычно используют многоскоростные асинхронные двигатели.

8.3. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ

Токарные станки, применяемые в машиностроительной промышленности и других отраслях народного хозяйства, составляют наиболее многочисленную группу механизмов, отличающуюся технологическим назначением, конструктивным исполнением и схемами управления. К этой группе относятся универсальные токарные, токарно-винторезные, револьверные, карусельные, лобовые и токарно-копировальные станки, а также токарные автоматы и полуавтоматы. Токарные станки позволяют обрабатывать наружные, внутренние, торцевые поверхности тел вращения и производить сверление отверстий и нарезание резьб. Основными режущими инструментами их являются резцы различных назначений, фрезы, сверла, метчики и развертки.

На рис. 8.3 показан общий вид токарного станка. На станине 1 установлена неподвижная передняя бабка 2, механизм которой служит для вращения обрабатываемого изделия. На станине расположен также подвижный суппорт 3, предназначенный для закрепления и перемещения резца. Подвижная задняя бабка 4 обеспечивает поддержку длинной заготовки, а также крепление инструментов в виде сверл, метчиков и т. п. Характерной особенностью станков токарной группы является осуществление главного движения за счет вращения

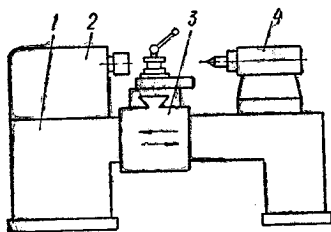


Рис. 8.3. Общий вид токарного станка

ваготовки или обрабатываемого изделия, тогда как движение подачи обеспечивается поступательным движением суппорта или задней бабки с укрепленным режущим инструментом.

Принципиальная схема электропривода токарно-винторезного станка модели 1К62 изображена на рис. 8.4. Привод главного движения станка осуществляется асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором *МГ*. Для обеспечения приводов подачи и вспомогательных движений служат асинхронные двигатели: *МБХ* — двигатель быстрого хода суппорта, *МПГ* — двигатель привода гидросистемы, *МО* — двигатель насоса охлаждающей жидкости.

Подача напряжения в схему производится выключателем *В1*. Для обеспечения электробезопасности предназначен разделительный трансформатор *Тр* со вторичным напряжением $U_2 = 36$ В для питания ламп местного свечения *Л* и $U_3 = 127$ В для питания цепей управления. Включение ламп *Л* производится выключателем

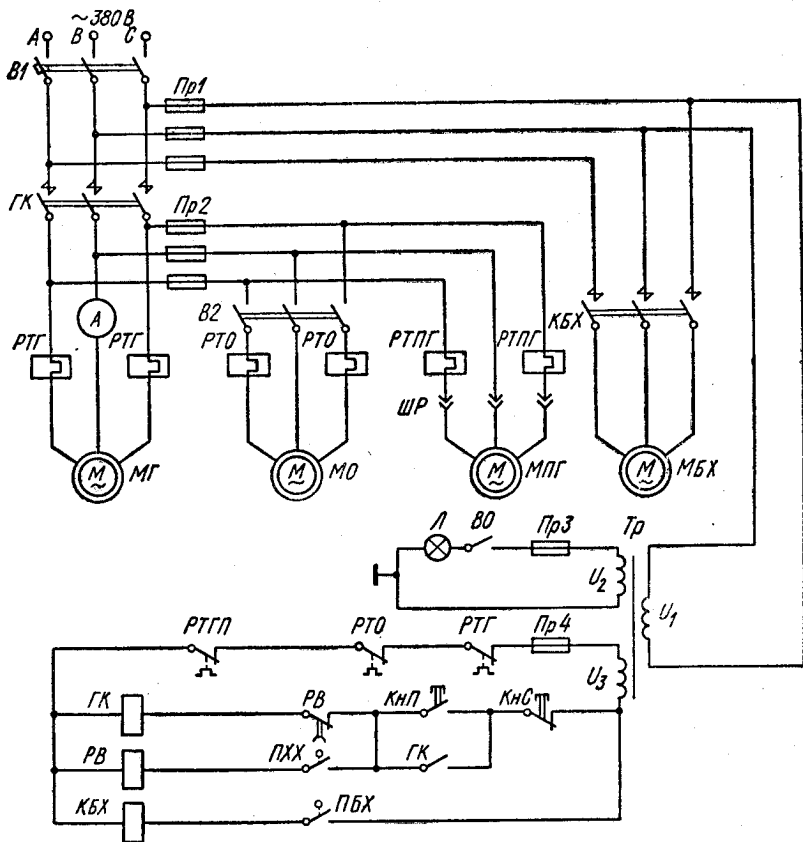


Рис. 8.4. Принципиальная схема электропривода токарного станка модели 1К62

ВО. Защитное отключение цепей освещения осуществляется предохранителем *Пр3*. При заземлении на корпус станка вторичной обмотки трансформатора в цепи освещения, замыкании обмоток с напряжением U_1 и U_2 между собой и попадании первичного напряжения $U_1=380$ В на корпус станка перегорает предохранитель *Пр1*.

Двигатели *МО*, *МО* и *МПП* включают в работу нажатием кнопки «*Пуск*» (*КнП*). При этом напряжение подается на катушку главного контактора *ГК*, который, срабатывая, замыкает свои контакты *ГК* в цепи питания двигателей и блок-контакт *ГК* в цепи управления. Замыкание этих контактов обеспечивает питание катушки *ГК* при самовозврате кнопки «*Пуск*» и размыкании ее контактов.

Включатель *В2* и штепсельный разъем *ШР* позволяют, если необходимо, отсоединять двигатели *МО* и *МПП*.

После окончания обработки изделия и при работе на холостом ходу отключается фрикционная муфта станка и замыкается контакт путевого переключателя *ПХХ*. При этом напряжение подается на катушку реле времени *РВ*, которое с установленной выдержкой времени размыкает свои контакты *РВ* и отключает главный контактор *ГК*.

Отключение двигателей от сети главным контактором *ГК*, но уже без выдержки времени, может быть произведено также нажатием кнопки «*Стоп*» (*КнС*).

Двигатель *МБХ* включается в работу при замыкании контактов путевого переключателя быстрого хода *ПБХ*, связанного со вспомогательным шлицевым валиком, поворот которого производится рукояткой, установленной на суппорте. При замыкании контактов *ПБХ* напряжение подается на катушку контактора *КБХ*, который срабатывает и замыкает свои силовые контакты *КБХ* в цепи питания двигателя *МБХ*.

Амперметр *А*, включенный в силовую цепь двигателя привода главного движения, указывает ток нагрузки электродвигателя. Защита электродвигателей от недопустимых перегрузок осуществляется тепловыми реле *РТГ*, *РТО* и *РТГП*, при срабатывании которых отключаются цепи управления. Плавкие предохранители *Пр1*, ..., *Пр4* обеспечивают защиту электрооборудования от токов короткого замыкания.

8.4. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ СВЕРЛИЛЬНЫХ И РАСТОЧНЫХ СТАНКОВ

Сверлильные станки подразделяются на *вертикально-* и *радиально-сверлильные*. Они предназначены для сверления отверстий с помощью сверл, расточки отверстий резцами и выполнения других операций для получения отверстий.

Общий вид радиально-сверлильного станка показан на рис. 8.5. На фундаментной плите *1* расположена колонна *2* с поворотной гильзой *3*, по которой в вертикальной плоскости может переме-

щаться траверса 4. На траверсе установлена подвижная в горизонтальной плоскости шпиндельная бабка (сверлильная головка) 5. Таким образом, сверло 6, закрепленное в шпиндельной бабке, может перемещаться в трех плоскостях относительно изделия 7, прикрепленного к неподвижному столу станины.

В сверлильных станках главным приводом является привод вращения сверла, а приводом подачи — привод перемещения сверла.

Принципиальная схема электропривода радиально-сверлильного станка изображена на рис. 8.6. Электропривод основных и вспомогательных движений станка осуществляют пять асинхронных двигателей с короткозамкнутыми роторами: *МШ* — двигатель привода основного движения, который обеспечивает вращение шпинделя и его подачу; *МПТ* — двигатель перемещения траверсы по колонне; *МГК* — двигатель гидравлического зажима траверсы на колонне; *МГШ* — двигатель гидравлического зажима шпиндельной бабки; *МО* — двигатель насоса охлаждения.

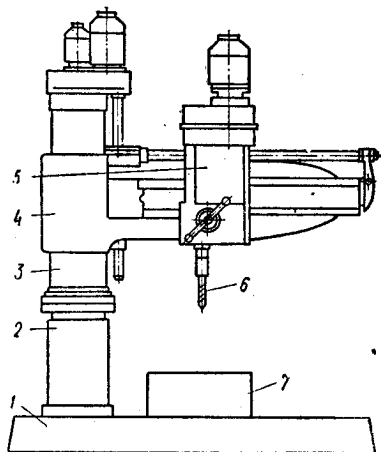


Рис. 8.5. Общий вид радиально-сверлильного станка

Подача напряжения 380 В в схему производится выключателем *ВС1*. Питание ламп местного освещения *Л* и цепей управления осуществляется через разделительный понижающий трансформатор *Тр*. Электродвигатели *МШ* и *МПТ* включаются пускателями *В1, Н1* и *В2, Н2*, управляемыми переключателем *КП*, контакты которого 1, ..., 4 показаны на схеме. Электродвигатели *МГК* и *МГШ* включаются и реверсируются одновременно кнопками поста управления *КУ1* и *КУ2*. Подача напряжения на двигатель *МО* производится выключателем *ВО2*.

Подвод напряжения к двигателям *МШ, МПТ, МГК* и *МГШ*, на разделительный трансформатор *Тр*, а также заземление траверсы осуществляется посредством скользящих контактов кольцевого токоприемника *КТ*.

Защиту двигателя *МШ* от недопустимых перегрузок обеспечивают тепловые реле *РТ*, защиту электрооборудования от токов короткого замыкания — предохранители *Пр1, ..., Пр6*, а защиту от исчезновения напряжения — реле минимального напряжения *РН*. Включение схемы производится путем нажатия кнопки *ВНЗ* «Включение нулевой защиты». При наличии напряжения контакты реле *РН* замыкаются, подготавливая схему к работе.

Подготовка к пуску и реверсирование двигателя *МШ* осуществляется установкой переключателя *КП* в положение 1 или 2, при этом замыкаются контакты *КП1* или *КП2* и собирается цепь для питания катушки *В1* или *Н1*. Включение двигателя *МШ*

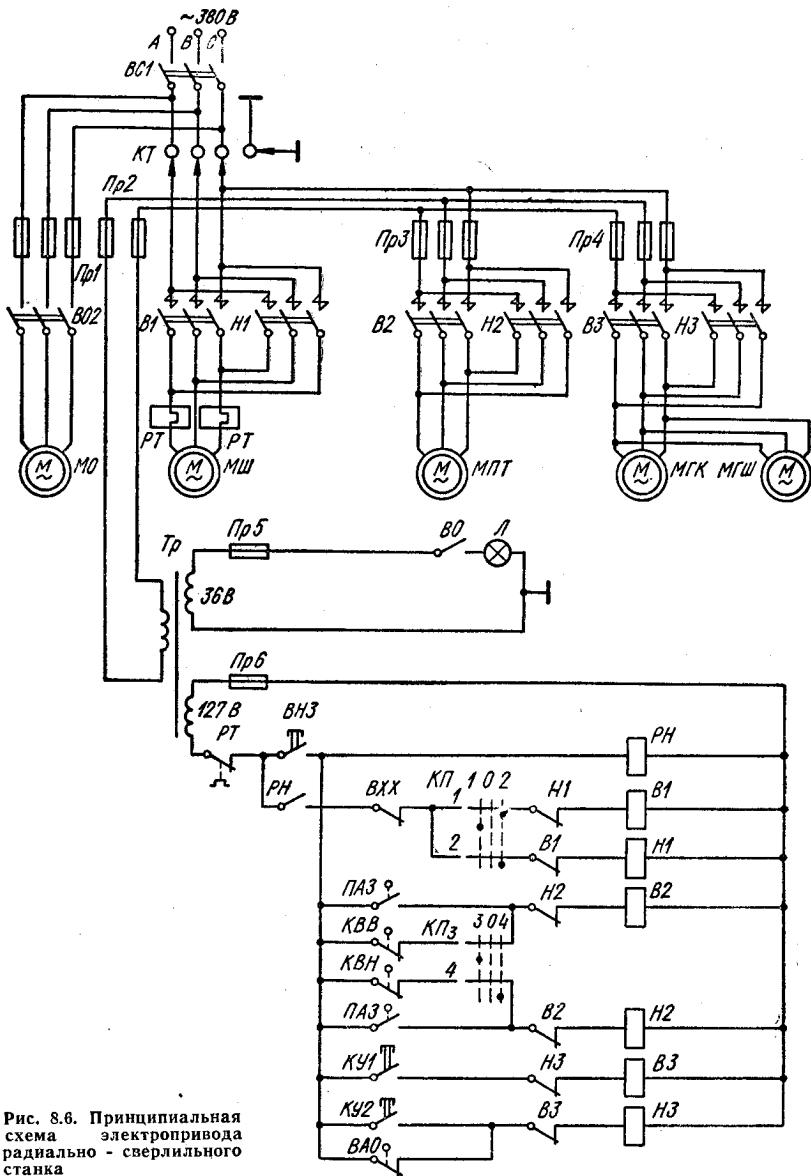


Рис. 8.6. Принципиальная схема электропривода радиально - сверлильного станка

в работу производится рукояткой фрикциона при перемещении ее из нейтрального положения; одновременно включается выключатель холостого хода ВХХ и подается напряжение на одну из катушек пускателя В1 или Н1, в зависимости от чего замыкаются контакты пускателя В1 или Н1 и двигатель МШ начинает вращаться в ту или иную сторону.

При включении переключателя *КП* в положение *3* или *4* происходит замыкание контактов, подается напряжение на катушки *B2* или *H2*, замыкаются соответствующие контакты пускателя и двигатель *МПТ*, вращаясь, перемещает траверсу вдоль колонны вверх или вниз.

Блок-контакты *H1*, *B1*, *H2*, *B2*, *H3* и *B3* обеспечивают электрическую блокировку реверсивных пускателей от неправильных включений.

В схеме предусмотрены также разрешающие *ПАЗ* и ограничивающие *КВВ*, *КВН*, *ВАО* путевые выключатели в цепях управления двигателями *МПТ* и *МГК*, *МГШ*.

Для обработки отверстий в сложных деталях применяют расточные станки. Они обычно универсальны, т. е. на них можно производить сверление, растачивание, фрезерование, обтачивание, развертывание и нарезание резьб. Такие станки бывают *горизонтальными* и *вертикальными*. Главное движение в расточных станках — вращение шпинделя или планшайбы с инструментом. Движением подачи являются продольное и поперечное перемещения стола с изделием или продольное перемещение шпинделя с инструментом. Главный привод должен быть реверсивным и обеспечивать регулирование скорости в диапазоне, равном примерно 130:1.

В главном приводе расточных станков используются электродвигатели переменного или постоянного тока. В качестве первых применяются асинхронные одно- и многоскоростные двигатели с короткозамкнутым ротором и переключением числа пар полюсов в обмотке статора. В тяжелых горизонтально-расточных станках устанавливается регулируемый электропривод постоянного тока.

В настоящее время универсальные расточные станки оборудуются электроприводами с замкнутой системой стабилизации скорости, причем в механизмах подач тяжелых станков устанавливаются следяще-регулируемые электроприводы с системой программного управления.

8.5. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ

Фрезерные станки по признакам производственного процесса подразделяются на *универсальные*, или станки общего назначения (например, горизонтальные, вертикальные, продольно-фрезерные), и *специальные*, такие как резьбо-, копировально- и карусельно-фрезерные, зубо-, шпоночно- и шлице-фрезерные и т. п. Эти станки обеспечивают фрезерование плоских и фасонных, наружных и внутренних поверхностей, прорезку канавок, нарезку резьб и зубчатых колес.

Наибольшее распространение в настоящее время получили небольшие и средние по размерам горизонтально- и вертикально-фрезерные станки.

На рис. 8.7 показан общий вид горизонтально-фрезерного станка. На хоботе *1* с помощью подвески *2* установлена оправка *3* с

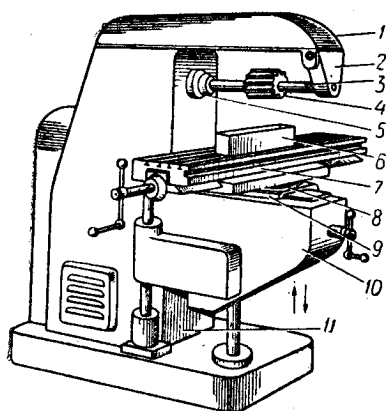


Рис. 8.7. Общий вид горизонтально-фрезерного станка

фрезой 4. Оправка закреплена в шпинделе 5, обеспечивающем вращение фрезы, которая представляет собой многолезвийный режущий инструмент. Обрабатываемую деталь 6 устанавливают на столе 7, который может перемещаться по направляющим поворотной плиты 8. Поворотная плита закреплена на салазках 9 и может двигаться по консоли 10 в направлении, перпендикулярном к вращению стола по направляющим станины 11.

Главным движением в фрезерных станках является вращение фрезы, движением подачи — перемещение изделия. Наличие поворотной плиты позволяет поворачивать

стол в горизонтальной плоскости и устанавливать его на требуемый угол. В простых фрезерных станках поворотная плита отсутствует.

Вертикально-фрезерные станки отличаются от горизонтально-фрезерных тем, что шпиндельный узел в станине установлен вертикально, а поворотной плиты нет.

Главный привод фрезерных станков должен быть реверсивным и обеспечивать регулирование скорости в широких пределах при постоянной мощности. В электроприводе главного движения обычно применяют одно- или многоскоростные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором. В электроприводе подачи тяжелых бесконсольно- и продольно-фрезерных станков используют двигатели постоянного тока с тиристорными преобразователями.

Схемы управления фрезерными станками обеспечивают автоматический и наладочный режим работы, а также блокировки, осуществляющие пуск и остановку главного двигателя при отсутствии подачи стола.

В зубофрезерных станках, предназначенных для нарезания червячными фрезами цилиндрических и червячных колес методом обкатки, должно быть обеспечено согласование скоростей вращения фрезы, подачи и вращения заготовки, совершающей медленное движение обката.

Принципиальная схема электропривода вертикально-фрезерного станка изображена на рис. 8.8. Электропривод механизмов станка осуществляют три асинхронных двигателя с короткозамкнутыми роторами: *МШ* — двигатель шпинделя, *МО* — двигатель насоса охлаждения, *МП* — двигатель механизма подачи.

Подача напряжения в схему производится выключателем *В1*. Напряжение 36 В на лампу освещения *ЛО* подается выключателем *ВО* от вторичной обмотки разделительного трансформатора

8.6. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНЫХ СВЕРЛИЛЬНО-ФРЕЗЕРНО-РАСТОЧНЫХ СТАНКОВ

Для повышения производительности труда при обработке сложных изделий, требующих обработки поверхностей в различных плоскостях и с разных сторон, в настоящее время широко применяются универсальные высокоавтоматизированные станки. Такие станки позволяют производить совмещение операций сверления, растачивания и фрезерования с автоматической сменой инструментов и механизированной заменой заготовок. Применение универсальных станков, оснащенных системой числового программного управления, увеличивает производительность труда в 5...10 раз.

На рис. 8.9 показана принципиальная схема электропривода универсального сверлильно-фрезерно-расточного станка. Электропривод имеет 12 электродвигателей, из которых пять ($M1, \dots, M5$) — постоянного тока, один ($M6$) — дискретный и шесть ($M7, \dots, M12$) — асинхронные с короткозамкнутыми роторами.

Подача напряжения в схему производится выключателем $B1$ и контактором защиты $K3$. Схема управления электродвигателем $M1$ главного привода подключается к сети с помощью выключателя $B2$. Управление электродвигателем $M1$ производится теристорным преобразователем $TПГ$.

Главный электропривод является комплектным и образует замкнутую систему автоматического управления с отрицательной о. с. по скорости от тахогенератора $TГ1$, обеспечивая плавное регулирование частоты вращения электродвигателя в диапазоне 40:1 и имея жесткие электромеханические характеристики. Управление электроприводом производится от задатчика скорости $ЗСГ$, а также от системы числового программного управления $ЧПУ$ с помощью реле, обеспечивающих пуск шпинделя $РШП$ и его останов: $РШС$ («Стоп»), вращение шпинделя $РШВ$ («Вперед») и $РШН$ («Назад»). Включение шпинделя при смене инструмента обеспечивается включением реле $РШИ$, а при смене диапазона скоростей — реле $РШД$. Схема управления главным приводом составлена на бесконтактных логических элементах, выполняющих функции «ИЛИ — НЕ», «ИЛИ», задержки или усиления сигналов.

Электроприводы подач также комплектные с тиристорными преобразователями. Электродвигатели приводов шпинделя $M2$, салазок $M3$, стола $M4$ и поворота стола $M5$ — постоянного тока, выполнены со встроенными тахогенераторами $TГ2, \dots, TГ5$.

Системы управления электроприводами подач — следящие с о. с. по положению и скорости. Электроприводы подач обеспечивают регулирование скорости в диапазоне 4000:1. Управление электроприводами может осуществляться с пульта управления датчиками скорости $ЗСХ, ЗСУ, ЗСЗ, ЗСВ$ по четырем координатам и от системы числового программного управления $ЧПУ$ с помощью реле пуска $РПХ, РПУ, РПЗ$ и $РПВ$, подающих питание

на тиристорные преобразователи ТППХ, ТППУ, ТППЗ и ТППШ. Напряжение в схему управления электроприводами подач подается выключателем ВЗ и контактором привода подач КП.

Перемещение упора подачи плансуппорта обеспечивается дискретным электродвигателем М6 с блоком питания БПШД. Электропривод может управляться от задатчика положения упора ЗПУ и от системы числового программного управления ЧПУ. Напряжение на электродвигатель М6, а также на асинхронные двигатели М7 (гидростанции), М8 (насоса смазки), М9 (насоса охлаждения) и М10 (привода вентилятора теплообменника) подается выключателем В4 и контактором гидравлики КГ.

Блоки питания логических элементов БПЛ и усилителей БПУ подключаются с помощью выключателя В5. Напряжение на блок линейных датчиков перемещения БПД подается выключателем В9.

Асинхронные двигатели М11 и М12 вентиляторов охлаждения включаются в работу выключателем В10. Блокировочные концевые выключатели ВКД обеспечивают снятие напряжения с электродвигателей вентиляторов и включение лампы освещения ЛО при открывании двери шкафа управления.

В схеме предусмотрен разделительный понижающий трансформатор ТрУ для питания цепей сигнализации и управления контакторами, подключаемый к сети выключателем В7. Пониженное напряжение на катушки контакторов КЗ, КГ и КП подается выключателем В8. Управление контакторами производится кнопками КнП («Пуск») и КнС («Стоп»). Последовательно с катушками контакторов включены блок-контакты выключателей В5 и В6, контакты тепловых реле РТГ, РТТ, РТС, РТШ асинхронных двигателей и концевых выключателей положения ВКХВ, ВКХН, ВКУВ, ВКУН, ВКЗВ и ВКЗН, ограничивающих ход шпинделя, салазок и стола по координатам X, Y, Z в крайних положениях при движении вперед и назад. В схеме предусмотрены также блок-контакты реле блоков питания усилителей и логических элементов РУ (БПУ) и РЛ (БПЛ), разрывающие цепи питания контакторов при обесточивании катушек реле этих блоков.

Нажатием пусковой кнопки КнП происходит включение в работу асинхронных двигателей М7, ..., М10, если включены все автоматические выключатели, контакты тепловых реле и концевых выключателей положения. Отключение электродвигателей производится нажатием кнопки КнС.

Схема электропривода предусматривает максимально-токовую защиту, нулевую, а также тепловую защиты от перегрузок электродвигателей.

8.7. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ СТРОГАЛЬНЫХ СТАНКОВ

Строгальные станки подразделяются на *поперечно-строгальные*, *продольно-строгальные* и *долбежные*. Они предназначены для обработки плоскостей резцами и прорезания различных пазов и канавок.

Поперечно-строгальные станки служат для обработки небольших деталей. В таких станках главным движением является поступательное перемещение реза с режимом строгания при прямом ходе, а движение подачи осуществляется прерывисто столом с обрабатываемой деталью.

Для обработки плоскостей больших изделий применяют продольно-строгальные станки. Такие станки выпускаются разных размеров с длиной стола от 1,5 до 12 м. Общий вид продольно-строгального станка показан на рис. 8.10. Обрабатываемое изделие 1 закрепляют на столе 2, который совершает возвратно-поступательное движение, обеспечивающее режим строгания при рабочем ходе. Резец 3 закреплен на суппорте 4, установленном на траверсе 5. Суппорты станка осуществляют поперечную подачу реза в конце обратного хода.

В продольно-строгальных станках главным движением является продольное перемещение стола при рабочем ходе, а движением подачи — перемещение реза. К электроприводу главного движения предъявляются следующие основные требования: обеспечение диапазона регулирования скорости рабочего хода 20:1, ограничение скорости рабочего хода при входе и выходе реза из детали во избежание его поломки и выкрашивания металла, а также обеспечение реверсирования хода с минимальным временем.

Для осуществления только главного движения в продольно-строгальных станках применяют следующие электроприводы: асинхронный с двигателем, имеющим короткозамкнутый ротор и реверсивную электромагнитную муфту; постоянного тока по системе Г—Д или ГД—ЭМУ, МУ; тиристорный. Электроприводы подачи суппорта и вспомогательных механизмов продольно-строгальных станков обеспечиваются отдельными двигателями.

На рис. 8.11 изображена принципиальная схема главного электропривода продольно-строгального станка. Ее силовая часть

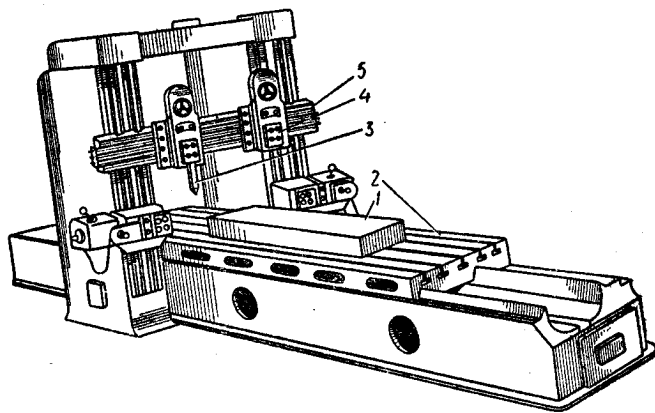


Рис. 8.10. Общий вид продольно-строгального станка

(рис. 8.11, а) состоит из реверсивного тиристорного преобразователя *ТП* с промежуточными магнитными усилителями *МУ1*, *МУ2* и двигателя постоянного тока *М*. Электропривод представляет собой замкнутую систему автоматического поддержания частоты вращения двигателя с отрицательной о. с. от тахогенератора *ТГ*. Для питания обмотки возбуждения двигателя *ОВМ* предусмотрены трехфазный трансформатор *Тр2* и мостовой выпрямитель *Вн2*. Регулируемый резистор $R_{\text{в}}$ в цепи обмотки возбуждения обеспечивает повышение частоты вращения двигателя на 20% относительно номинальной за счет ослабления магнитного поля электродвигателя.

Частота вращения двигателя регулируется задатчиком скорости *ЗС*, состоящим из регулятора скорости *РС1* и подстроечных резисторов *R1*, ..., *R3*. Питание на задатчик скорости поступает от трехфазного трансформатора *Тр1* через мостовой выпрямитель *Вн1* и реверсивный мост, образованный замыкающими контактами реле задания длины хода стола *РВ* («Вперед») и *РН* («Назад»). Стабилитрон *СТ1* обеспечивает постоянство питающего напряжения. $U_{\text{у}}$ — алгебраическая сумма выходного напряжения задатчика скорости $U_{\text{з}}$ и напряжения о. с. $U_{\text{о.с.}}$ снимаемого с тахогенератора, подается на вход магнитных усилителей *МУ1* и *МУ2* тиристорного преобразователя. Диоды *Д10*, ..., *Д13*, включенные на входе преобразователя, ограничивают сигнал управления. Схема тиристорного преобразователя предусматривает рекуперативное рабочее торможение. Аварийное динамическое торможение осуществляется замыканием обмотки якоря электродвигателя на резистор $R_{\text{т}}$.

Питание схемы управления электроприводом (рис. 8.11, б) производится от трехфазного трансформатора *Тр3* и мостового выпрямителя *Вн3*. Схема управления подготавливается к работе включением автоматических выключателей *АВ1*, ..., *АВ5*. Нажатием двухцепной кнопки управления *Кн2* снимается динамическое торможение электродвигателя *М* путем подачи напряжения на катушку контактора *КТ*, который размыкает свой контакт *КТ* в цепи динамического торможения и замыкает контакт *КТ* в цепи питания задатчика скорости (см. рис. 8.11, а).

Одновременно, при нажатии кнопки *Кн2*, напряжение подается на катушку реле времени *РВ1*, которое срабатывает и контактами *РВ1* подает напряжение на катушку контактора *К1*, а другим контактом *РВ1* — на катушку контактора *К2*. Срабатывая, контактор *К1* подключает к питающей сети тиристорный преобразователь *ТП*, а контактор *К2* подает питание через выпрямители на обмотку возбуждения электродвигателя и в систему регулирования его частоты вращения. При подаче напряжения на обмотку возбуждения магнитный поток двигателя растет и включается реле *РНТ*, которое своими контактами *РНТ* отключает катушку реле времени *РВ1* и создает цепь питания катушки контактора *К2*.

Для дальнейшей работы схемы управления необходимо уста-

новить режим работы станка нажатием кнопок управления *Кн4*, ..., *Кн7*. Если этого не сделать, то контакты реле *PВ1* в цепи катушки контактора *К1* с установленной выдержкой времени разомкнутся и произойдет отключение питания тиристорного преобразователя, а контактор *КТ* останется включенным. Контакты *РД1* (реле давления масла) обеспечивают сигнализацию о нормальном давлении масла в системе смазки.

Схема управления обеспечивает два режима работы: автоматический (режим цикла) и наладочный (режим установочных перемещений). Для работы в автоматическом режиме нажимают кнопки управления *Кн4* (движение вперед) и *Кн5* (движение назад). Перемещение стола в наладочном режиме производится кнопками без самоподхвата *Кн6* (движение вперед) и *Кн7* (движение назад).

Для защиты двигателя от токов короткого замыкания и перегрузок предусмотрены максимально-токовая защита с помощью реле *РМТ* и защита от перегрузок посредством реле *РТ1* и *РТ2*. Обмотка возбуждения двигателя имеет минимально-токовую защиту с помощью реле нулевого тока *РНТ*. При срабатывании одной из этих защит происходят отключение контакторов *К1*, *К2* и останов двигателя.

8.8. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКОВ

Шлифовальные станки предназначены для чистовой обработки деталей. Широкое распространение получили шлифовальные станки общего назначения: *кругло-*, *плоско-* и *внутришлифовальные*. Применяют также специальные станки: *резьбо-*, *зубо-*, *же-лобо-*, *бесцентровошлифовальные* и др.

Шлифовальный станок состоит из станины, на которой закреплены две бабки: бабка изделия, или стол для закрепления детали, и шлифовальная бабка, на которой устанавливают шпиндель со шлифовальным кругом.

Шлифование поверхности изделия производят шлифовальными кругами, которые вращаются с большой частотой и могут поступательно перемещаться для снятия стружки.

В шлифовальных станках главным движением является вращение шлифовального круга, а движением подачи — поступательное перемещение круга или детали, а также вращательное движение детали.

Для шлифования станки имеют следующие электроприводы: главный для вращения шлифовального круга; вращения изделия; подачи; вспомогательные (смазки, охлаждения, гидropередач и др.), а также специальные электромеханические устройства (электромагнитные плиты и столы), устройства для контроля и автоматической подналадки. В главном приводе применяются в основном нерегулируемые асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором. В настоящее время для обеспечения заданной скорости шлифования при износе шлифовального круга стан-

ки оборудуют тиристорными электроприводами с двигателями постоянного и переменного тока.

На современных круглошлифовальных станках для вращения детали устанавливаются многоскоростные асинхронные двигатели со ступенчатым регулированием частоты вращения. Крупные станки для обеспечения изменения вращения изделия в диапазоне 10:1 оборудуют двигателями постоянного тока с тиристорными преобразователями и клиноременной передачей. Продольную и поперечную подачи стола, на котором закреплено изделие, осуществляют с помощью двигателей постоянного тока (питаемых от тиристорных преобразователей) с регулируемой частотой вращения.

На рис. 8.12 показана логическая бесконтактная схема управления электроприводом подачи шлифовального станка, обеспечивающая автоматическое управление электроприводом в автоматическом и наладочном режимах. На схеме изображены: $У_v$, $У_n$ — усилители реверсивного преобразователя двигателя подачи станка; $И1$, $И2$, $ИЛИ$, $ИЛИ-НЕ1$, ... $ИЛИ-НЕ7$, $T1$, $T2$ — логические элементы; $Кн1$, $Кн2$ — кнопки управления; $ВК1$, $ВК2$ — концевые выключатели; $ДР$ — датчик размера изделия.

В исходном положении замыкающий контакт концевого выключателя $ВК2$ замкнут и на входы логических элементов $ИЛИ-НЕ2$, $T2(10)$, $И1(3)$, $ИЛИ-НЕ7$, $И2(2)$ подан сигнал 1, а на входы логических элементов $И1(1)$, $T1(9)$, $ИЛИ$, $И2(1, 3)$, $ИЛИ-НЕ3$, $T2(9)$ и усилителей $У_v$ и $У_n$ — сигнал 0. Нажатием кнопки $Кн1$ осуществляется включение двигателя подачи при подводе стола. При этом элемент $ИЛИ-НЕ1$ выдает сигнал 1, который через элемент $И1$ при наличии блокировочного сигнала 1 на входе $И1(2)$ поступает на триггер $T1(9)$ и $У_v$. Триггер $T1$ запоминает это состояние и сохраняет его при отпущенной кнопке $Кн1$.

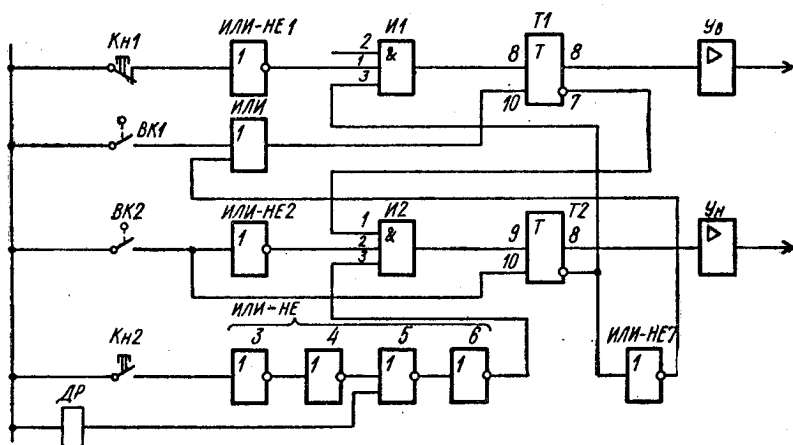


Рис. 8.12. Логическая бесконтактная схема управления электроприводом подачи шлифовального станка

Отвод ствола производится вручную нажатием кнопки $K_{н2}$ или автоматически при поступлении сигнала об окончании обработки с датчика $ДР$. При этом сигнал 1 появляется на выходе $ИЛИ-НЕ6$ и на входе $И2(3)$ и поступает на триггер $T2(9)$, где он запоминается, и на $У_н$. В заднем крайнем положении стола срабатывает концевой выключатель $ВК2$, который подает сигнал 0 на логический элемент $И2(2)$, а также сигнал 1 на $T2(10)$ и отключает двигатель подачи. Когда стол достигает переднего крайнего положения, срабатывает концевой выключатель $ВК1$, который через элемент $ИЛИ$ подает сигналы 1 на $T1$ и 0 на $У_н$, что тоже приводит к отключению двигателя подачи.

В схеме предусмотрены блокировка, запрещающая одновременную подачу сигнала 1 на усилители $У_в$ и $У_н$ триггером $T1(7)$, $И2(1)$ и триггером $T2(7)$, $И1(3)$, а также блокировка, запрещающая пуск двигателя подачи, пока шлифовальный круг не отведен в исходное положение $И1(2)$.

8.9. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ КУЗНЕЧНЫХ МОЛОТОВ И ПРЕССОВЫХ МАШИН

Режим работы кузнечных молотов и кривошипных прессов характеризуется резкопеременной ударной нагрузкой. Для обеспечения необходимого махового момента эти механизмы снабжаются маховиками, которые в период уменьшения нагрузки и увеличения скорости запасают кинетическую энергию, а затем в период повышения нагрузки передают ее на вал привода механизма. Применение маховиков позволяет снизить установленную мощность двигателей в электроприводах прессов и молотов и уменьшить понижение напряжения в питающей сети при толчках нагрузки.

Для уменьшения размеров маховика электроприводы молотов и кривошипных прессов оборудуют жидкостными или контакторными регуляторами скольжения, которые увеличивают скольжение в период роста нагрузки и обеспечивают передачу накопленной кинетической энергии маховика на вал привода. С этой же целью используют асинхронные двигатели серии АОС с повышенным скольжением. Недостатками этих двигателей являются увеличение потерь в цепи ротора, а также снижение частоты вращения вала машины.

Принципиальная схема электропривода ковочной машины изображена на рис. 8.13. Электропривод имеет асинхронный двигатель M с контактными кольцами. Подача напряжения в схему производится выключателем B . При этом напряжение прикладывается к катушкам реле времени $PВ1, \dots, PВ3$ и их контакты в цепях катушек реле управления $У1, \dots, У3$ размыкаются. Контакты $У1, \dots, У3$ в цепях добавочных резисторов R разомкнуты и эти резисторы включены в цепь ротора.

Двигатель включают в работу нажатием кнопки $K_{нП}$ («Пуск»). При этом напряжение подается на катушку реле $PП$, реле срабатывает и замыкает свой контакт $PП$, обеспечивающий питание

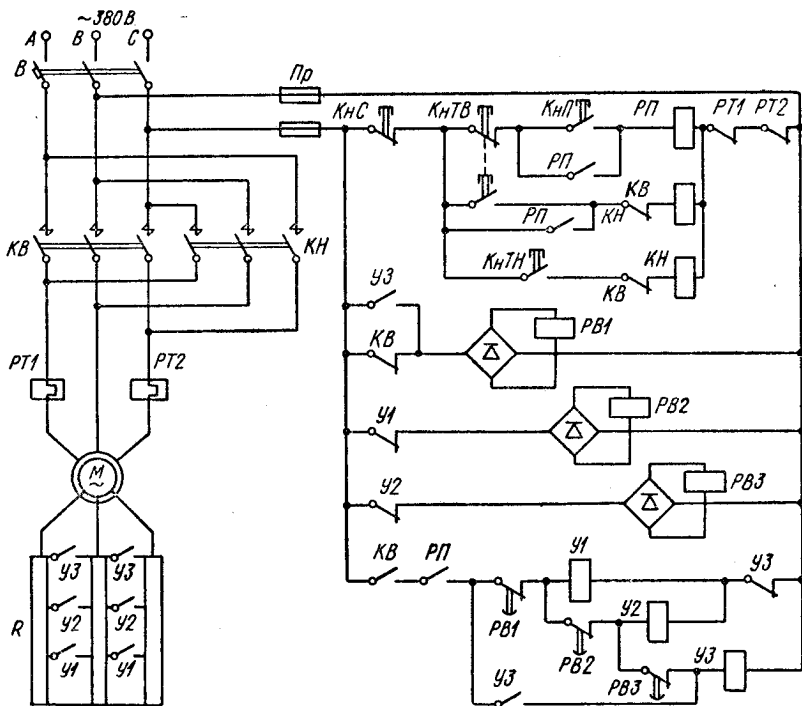


Рис. 8.13. Принципиальная схема электропривода ковочной машины

катушки *РП* при самовозврате кнопки «Пуск», контакт *РП*, подающий напряжение на катушку контактора *КВ*, обеспечивающего движение вперед, и контакт *РП*, подготавливающий цепи питания реле управления *У1, ..., У3*. Контактор *КВ* срабатывает и размыкает блокировочный контакт *КВ* и контакт *КВ* в цепи катушки реле времени *РВ1*, одновременно замыкая силовые контакты *КВ* в цепи двигателя и контакт *КВ*, подготавливающий подачу напряжения на катушки реле управления. Этим самым обеспечиваются пуск двигателя, обесточивание реле времени *РВ1* и подача напряжения с выдержкой времени на катушку реле *У1*, которое, срабатывая, отключает часть резисторов *R* в цепи ротора контактами *У1* и обесточивает реле времени *РВ2* контактами *У1*. Аналогично с помощью реле времени *РВ2* и *РВ3* с выдержкой времени выводятся из цепи ротора остальные ступени резисторов *R*. Останов ковочной машины производится кнопкой *КнС* («Стоп»), которая обесточивает катушки *РП* и *КВ*.

При наладочных работах используются кнопки *КнТВ* («Толчок вперед») и *КнТН* («Толчок назад»). При нажатии двойной кнопки *КнТВ* срабатывает контактор *КВ* и включается двигатель, одновременно размыкается цепь реле *РП*, что не дает возможности вывести пусковые резисторы *R*. В наладочном режиме двигатель

машины работает на пониженной частоте вращения. При нажатии кнопки *КНТН* происходит вначале торможение двигателя противовключением при введенных резисторах, а затем его реверс.

Защиту двигателя от недопустимых перегрузок обеспечивают тепловые реле *РТ1* и *РТ2*. Плавкие предохранители *Пр* осуществляют защиту схемы от токов короткого замыкания.

Работа прессовых машин связана с периодическими пиками и провалами нагрузки. Для обеспечения экономичности работы этих машин применяют специальные асинхронные двигатели типа АОС-2 с номинальным скольжением 7...15%, которые предназначены для эксплуатации в длительном и повторно-кратковременном режиме с ПВ=25%, что соответствует нагрузке прессовых машин.

На рис. 8.14 показаны конструктивная и принципиальная схемы электропривода фрикционного винтового пресса. В электроприводе используется асинхронный двигатель с повышенным скольжением. Подача напряжения в схему производится выключателем *В1*. В схеме имеется разделительный понижающий трансформатор *Тр*, обеспечивающий получение пониженного напряжения 127 В оперативного тока.

Включение двигателя в работу осуществляется нажатием кнопки *КНП* («Пуск»). При этом срабатывает контактор *М* и своими замыкающими контактами *М* шунтирует кнопку *КНП*, подавая напряжение в цепь контакторов движения ползуна *В* и *Н*, а также на двигатель *М*. При последующем нажатии кнопки *КНН* («Вниз») контактор *Н* включает электромагнит *Э1*, который, как это видно из рис. 8.14, *а*, втягивается и прижимает диск *1* к маховику *3*, что обеспечивает движение ползуна *5* вниз посредством винта *4*.

Когда верхний штамп соприкасается с заготовкой, срабатывает концевой выключатель *ВК1*, происходит отключение контактора *Н* и снимается питание с электромагнита *Э1*, после чего диск *1* отходит от маховика. Одновременно замыкающий контакт

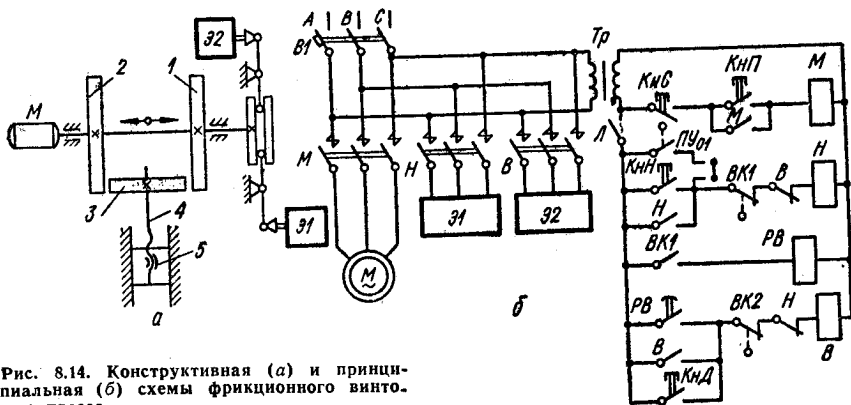


Рис. 8.14. Конструктивная (а) и принципиальная (б) схемы фрикционного винтового пресса

ВК1 подает напряжение на катушку реле времени *РВ*. Уставка реле времени подобрана так, чтобы обеспечить отдачу маховиком *З* запаса кинетической энергии на штамповку изделия.

Замыкающий контакт реле времени *РВ* с замедлителем, действующим при срабатывании, включает катушку контактора *В*, который, срабатывая, подает напряжение на электромагнит *Э2*. Втягиваясь, последний прижимает диск *2* к маховику прессы, что обеспечивает подъем ползуна до момента нажатия им концевого выключателя *ВК2*. Размыкающий контакт *ВК2* снимает питание с катушки контактора *В*, происходит отключение электромагнита *Э2*, диск *2* отходит от маховика и движение ползуна вверх прекращается. Замыкающий контакт *ВК2* концевого выключателя при замкнутом контакте переключателя *ПУ* обеспечивает срабатывание контактора *Н* и непрерывную работу прессы.

С более сложными схемами электропривода кузнечно-прессовых машин и установок можно ознакомиться в специальной литературе [40, 46].

8.10. КОМПЛЕКТНЫЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

При проектировании и создании новых металлорежущих станков целесообразно использовать комплектные электроприводы. Отечественная промышленность освоила выпуск таких электроприводов и тиристорных преобразователей к ним мощностью 0,09...250 кВт с диапазоном изменения скорости 100...600:1.

Комплектные электроприводы выпускаются несколькими сериями и разнообразны по характеристикам, принципу действия и области применения. Электропривод серии ПТР постоянного тока с транзисторным широтно-импульсным преобразователем позволяет производить контактный реверс. Привод серии ПКВТ, специально разработанный для главных приводов металлорежущих станков, содержит совмещенные управляемые тиристорные преобразователи, питающие цепи якоря и возбуждения двигателя и обеспечивающие двухзонное регулирование угловой скорости. Тиристорные электроприводы серии КПТМ предназначены для главного движения и перемещения механизмов подачи металлорежущих станков с числовым программным управлением и без него. Комплектный электропривод серии ПМСМ работает с электромагнитной муфтой скольжения. Тиристорные преобразователи серий ЭКТ и ТПЧ служат для частотного регулирования угловой скорости асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором. Тиристорные преобразователи частоты серии ТПЧ, предназначенные для работы с двигателями серий А, АО, Т, МТК и других, обеспечивают диапазоны регулирования напряжения $0,1...1,1U_{ном}$ и частоты 5...60 Гц с точностью стабилизации до 2% в номинальном режиме.

Принципиальная схема автоматического управления асинхронным двигателем с тиристорным преобразователем частоты типа

ТПЧ-40 изображена на рис. 8.15. Преобразователь частоты содержит: асинхронный двигатель $АД1$; понижающий трехфазный трансформатор $Тр1$; трехфазный мостовой регулируемый выпрямитель $Т1, \dots, Т6$; автономный инвертор напряжения $Т7, \dots, Т12$ с разделяющими диодами $Д7, \dots, Д12$, коммутирующими конденсаторами $С$ и дросселями насыщения $Др1, \dots, Др3$; мост вентилей обратного (реактивного) тока на диодах $Д1, \dots, Д6$.

Схема управления тиристорным преобразователем частоты состоит из: блока системы управления выпрямителем $БСУВ$; блока системы управления инвертором $БСУИ$; блока управления $БУ$ с датчиками тока $ТТ1, \dots, ТТ3$ и трансформатором $Тр2$; блока питания $БП$ и блока подзаряда конденсаторов $БПК$, который предназначен для повышения коммутирующих свойств конденсаторов при работе на низкой частоте.

Система автоматического управления замкнута и построена по принципу сравнения задающего сигнала, пропорционального частоте, с сигналом о. с. по напряжению, пропорциональным э. д. с. двигателя.

Дроссели $Др1, \dots, Др3$ снимают скорость нарастания тока на анодах тиристоров $Т7, \dots, Т12$. Дроссели $Др5$ и $Др6$ применяются в качестве входной индуктивности инвертора, предотвращающей мгновенный разряд конденсаторов $С$ в контуре коммутации. Дроссель $Др6$ и конденсатор $С1$ образуют фильтр на выходе выпрямителя. Конденсатор $С1$, кроме того, повышает общий коэффициент мощности преобразователя.

Включение тиристорного преобразования производится автоматами $В1, В2$ и контактором $Л$. В схеме преобразователя предусмотрены: максимально-токовая защита автоматическими выключателями $В1, В2$ и предохранителями $Пр1, \dots, Пр3$; нулевая защита контактором $Л$ и защита от перенапряжений на стороне переменного и постоянного тока с помощью RC -цепочек. Световая сигнализация осуществляется лампами $Л1, \dots, Л4$.

8.11. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКОВ И УСТАНОВОК

Питание электропотребителей крупных металлообрабатывающих цехов обычно осуществляется от цеховых понижающих трансформаторных подстанций. В отношении обеспечения надежности электроснабжения металлообрабатывающие станки в основном относятся к потребителям второй категории и, следовательно, допускают перерыв в электроснабжении на время, необходимое для включения резервного питания действиями дежурного персонала.

На рис. 8.16 показана принципиальная схема двухтрансформаторной цеховой подстанции. Ее питание напряжением 6 или 10 кВ может быть либо радиальным (блок «линия — трансформатор»), либо магистральным, как изображено на схеме. При радиальном питании обычно применяют глухое присоединение трансформаторов к линии, при питании по магистрали на вводе к трансформатору

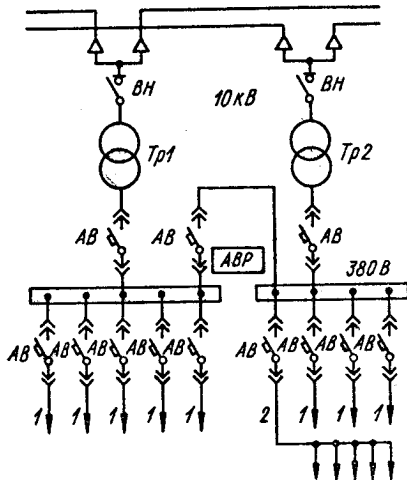


Рис. 8.16. Принципиальная схема двух-трансформаторной цеховой подстанции

в большинстве случаев устанавливаются выключатели нагрузки *ВН* или разъединители.

Трансформаторные подстанции должны размещаться с максимальным приближением к центру питаемых ими групп металлообрабатывающих станков, предпочтительно с некоторым смещением в сторону источника питания повышенного напряжения. Выбор количества и мощности цеховых трансформаторов *Тр1* и *Тр2*, обычно работающих раздельно, производится на основании технико-экономических расчетов, исходя из удельной плотности нагрузки ($\text{kB} \cdot \text{A}/\text{m}^2$) и полной расчетной нагрузки цеха.

При наличии в цехе крупных станков, когда удельная плотность нагрузки больше $0,2 \dots 0,3 \text{ kB} \cdot \text{A}/\text{m}^2$, а суммарная нагрузка выше $3000 \dots 4000 \text{ kB} \cdot \text{A}$, целесообразно, чтобы мощность цеховых трансформаторов была $1600 \dots 2500 \text{ kB} \cdot \text{A}$. Поскольку в больших металлообрабатывающих цехах преобладают потребители первой категории, рекомендуется применять двухтрансформаторные цеховые подстанции. В настоящее время для электроснабжения промышленных предприятий выпускаются комплекты трансформаторные подстанции серии КТП в одно- или двухтрансформаторном исполнении. На двухтрансформаторных комплектах подстанциях предусматривается взаимное автоматическое включение резерва (АВР) при авариях на одном из трансформаторов либо при неисправности на одном из вводов. В шкафах комплектов распределительных устройств напряжением 380 В устанавливаются автоматические выключатели *АВ* выдвижного исполнения (рис. 8.16).

Цеховые питающие сети имеют два отдельных элемента: питающую линию *1* и распределительную сеть *2* (см. рис. 8.16). От шин 380 В цеховой подстанции отходят питающие линии, которые по радиальным или магистральным схемам обеспечивают питание цеховых распределительных пунктов. По магистральной схеме возможно и прямое подключение металлообрабатывающих станков, особенно если питающая линия выполнена в виде шинпровода.

Цеховые сети, как правило, выполняются изолированными проводами и кабелями. Применение внутри цеха неизолированных проводов и шин допускается только при напряжении до 1000 В на высоте не менее $3,5 \text{ м}$ от пола и $2,5 \text{ м}$ от настила крана. При большом количестве проложенных наверху коммуникаций и

транспортных устройств и невозможности соблюдения требуемых расстояний шинные магистрали следует выполнять из закрытых и защищенных шинопроводов.

Технико-экономические расчеты, проведенные для металлообрабатывающих цехов, где подавляющая часть асинхронного электропривода станков малой и средней мощности равномерно распределена по площади цеха, показали целесообразность выполнения сети шинопроводами при магистральных схемах.

Схемы электроснабжения должны рассчитываться из условия учета допустимых 40% перегрузок трансформаторов в аварийных режимах на время максимумов общей суточной продолжительности до 6 ч в течение 5 сут при коэффициенте заполнения суточного графика нагрузки не более 0,75.

Для определения параметров элементов схем электроснабжения (силовых трансформаторов, площади сечения токопроводов и жил кабелей, оборудования управления и защиты и т. д.) необходимо знать расчетные значения токов и мощностей.

Расчетные нагрузки на всех ступенях распределительных и питающих сетей находятся по формуле

$$P_{\max} = K_{\max} K_n P_{\text{ном}}, \quad (8.1)$$

где P_{\max} — расчетный получасовой максимум активной мощности, кВт; K_{\max} — коэффициент максимума активной мощности; K_n — групповой коэффициент использования активной мощности за наиболее загруженную смену; $P_{\text{ном}}$ — суммарная номинальная активная мощность рабочих приемников электроэнергии.

Для группы из n приемников

$$K_n = \frac{\sum_1^n k_n P_{\text{ном}}}{\sum_1^n P_{\text{ном}}}, \quad (8.2)$$

где k_n — коэффициент использования активной мощности за наиболее загруженную смену одного приемника; $P_{\text{ном}}$ — номинальная мощность отдельного приемника.

Для группы приемников электроэнергии, состоящей из n' подгрупп с одинаковым режимом работы, средневзвешенный коэффициент использования активной мощности с достаточной для практических расчетов точностью определяется по формуле (8.2) с подстановкой в нее значений k'_n и $P_{\text{ном}}$ для подгрупп приемников.

Групповой коэффициент использования активной мощности данного расчетного узла и его средневзвешенный коэффициент мощности находятся по таблицам для соответствующих групп электроприемников. Значения коэффициентов максимума активной мощности определяются по кривым для различных коэффициентов использования k_n в зависимости от приведенного числа электроприемников n_n . Величина n_n рассчитывается по формулам

в зависимости от числа приемников электроэнергии в группе и значений параметров отдельных электроприемников.

Расчетный максимальный ток I_{\max} (А) силовых приемников электроэнергии магистрали или цеха определяется по формуле

$$I_{\max} = S_{\max} / (\sqrt{3} U_{\text{ном}}), \quad (8.3)$$

где $S_{\max} = \sqrt{P_{\max}^2 + Q_{\max}^2}$ — максимальная полная нагрузка, кВ·А; $U_{\text{ном}}$ — номинальное напряжение, кВ; Q_{\max} — реактивная нагрузка при максимуме активной, квар.

Коэффициент мощности в момент максимума активных нагрузок рассчитывается по формуле

$$\cos \varphi_{\max} = P_{\max} / S_{\max}. \quad (8.4)$$

Одним из основных энергетических показателей современного металлообрабатывающего цеха является коэффициент мощности. Асинхронные двигатели станков потребляют 60...70% общего количества реактивной мощности, расходуемой машиностроительным предприятием. Реактивная мощность, необходимая для создания магнитного потока и обеспечения работы асинхронных двигателей, хотя непосредственно полезной работы и не производит, но приводит к дополнительным капиталовложениям и потерям электроэнергии. Значение коэффициента мощности асинхронных двигателей находится в пределах 0,65...0,9 и определяется их конструктивными особенностями и степенью загрузки. Следовательно, потребление реактивной мощности двигателем доходит до 85% потребления им активной мощности.

Повышение коэффициента мощности асинхронных двигателей и другого электрооборудования, а также максимальная экономия электроэнергии имеют большое народнохозяйственное значение.

Глава 9 ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ПРОКАТНЫХ СТАНОВ

9.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Прокатным станом называется машина или система машин для обработки давлением металлов между вращающимися валками, т. е. для осуществления прокатки.

Прокатное производство предназначено для изменения размеров и формы металла. В результате прокатки происходит также улучшение структуры металла, повышаются его пластичность и прочность. Около 80% всей производимой в СРСР стали проходит через прокатные станы.

Пластическая деформация металла в прокатном стане производится с помощью двух или нескольких вращающихся валков. Различают три схемы прокатки: *продольную*, *поперечную* и *косую* (рис. 9.1). Продольная прокатка (рис. 9.1, а) характеризуется тем, что металл деформируется между двумя валками, вращающимися в разные стороны. Поперечная и косая прокатки (рис. 9.1, б, в) отличаются тем, что валки вращаются в одном направлении, а металл приобретает поступательно-вращательное движение. Поперечная прокатка применяется для изготовления тел вращения, а косая обеспечивает получение из плоского металла полой трубы. Наиболее распространена продольная прокатка, составляющая около 90% всего проката. При продольной прокатке (на обжимных станах) получают заготовки квадратного сечения, называемые *б л ю м а м и*, и прямоугольного сечения, называемые *с л я б а м и*. Блюмы используются для получения сортового металла (уголков, швеллеров, рельсов, труб и др.), а слябы — листовой стали.

По внешнему виду прокатные станы сильно отличаются один от другого, однако конструкции их клетей и приводных механизмов имеют много общего. На рис. 9.2 показан общий вид рабочей клетки обжимного стана. К основному оборудованию стана, предназначенному непосредственно для деформации металла, относятся рабочая клетя 1 с двумя прокатными валками 3, приводной электродвигатель 6 валков и передаточное устройство — шестеренная клетя 5 и шпиндели 4. К вспомогательным устройствам, необходимым для осуществления технологического процесса прокатки, относятся нажимное устройство 2, обеспечивающее установку раствора между валками, а также механизмы транспортирования, резки и правки металлов. Заметим, что

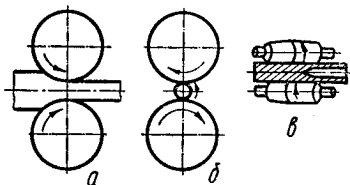


Рис. 9.1. Продольная (а), поперечная (б) и косая (в) схемы прокатки

Рис. 9.2. Общий вид рабочей клетки обжимного стана

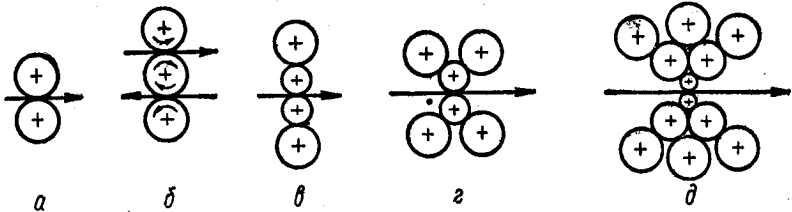
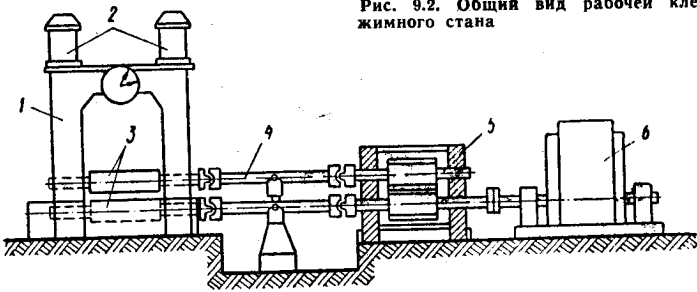


Рис. 9.3. Классификация прокатных станов по количеству и расположению рабочих валков

однократный проход металла через вращающиеся валки называется *пропуском*. Обычно прокатка металла на обжимных станах осуществляется в несколько пропусков, так как один пропуск не достаточен для получения требуемого конечного сечения металла.

Прокатные станы в зависимости от назначения, режима работы оборудования, количества и расположения рабочих валков, а также числа и расположения рабочих клеток подразделяются на различные группы. Основное назначение прокатных станов заключается в обжатии слитков в блюмы и слябы, в прокатке рельсов, балок, труб, проволоки, толстых и тонких листов, а также в получении сортового и специального проката. По режиму работы оборудования прокатные станы делятся на *реверсивные регулируемые*, *нереверсивные нерегулируемые* и *нереверсивные регулируемые*.

На рис. 9.3 дана классификация прокатных станов по количеству и расположению рабочих валков. Двухвалковые клетки (рис. 9.3, а) применяются в обжимных, толстолистовых и сортовых станах, трехвалковые (рис. 9.3, б) — в станах для прокатки средних и толстых листов (такое расположение валков обеспечивает прокат металла в обоих направлениях без реверсирования), четырехвалковые (рис. 9.3, в) — в листовых станах горячей и холодной прокатки (внешние валки здесь служат опорой для внутренних рабочих валков, обеспечивая снижение упругой деформации рабочих валков при прокатке). Многовалковые клетки с шестью, двенадцатью (рис. 9.3, г, д) и двадцатью валками имеют тонколистовые реверсивные станы холодной прокатки. Наличие опорных валков в вертикальной и горизонтальной плоскостях по-

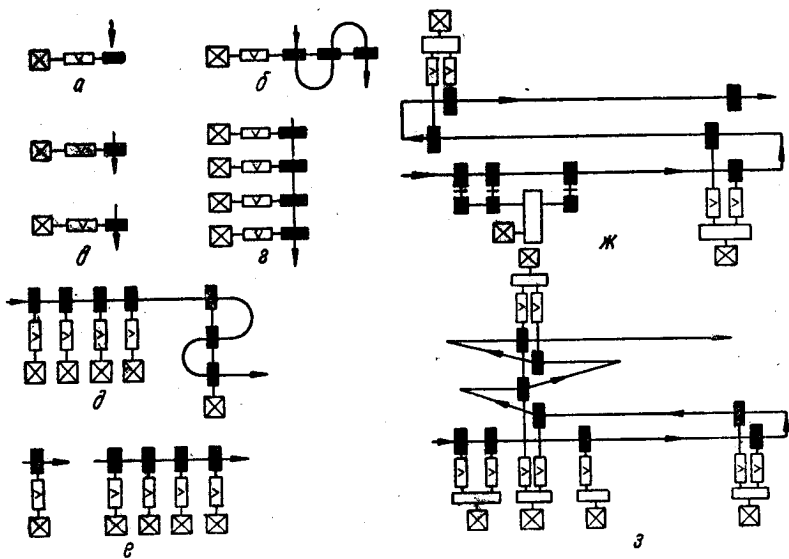


Рис. 9.4. Классификация прокатных станов по количеству и расположению рабочих клеток

звolyет использовать рабочие валки относительно малых диаметров с небольшой упругой деформацией, чем обеспечивается точная прокатка тонкого листа металла.

Классификация прокатных станов по числу и расположению рабочих клеток дана на рис. 9.4. Одноклетевые станы (рис. 9.4, а) применяются для обжатия слитков (блюминги, слябинги), прокатки труб и листов (реверсивные станы горячей и холодной прокатки), многоклетевые — для обеспечения высокой производительности стана и получения сложного профиля проката.

Линейные станы (рис. 9.4, б) имеют обычно от двух до пяти рабочих клеток, расположенных в одну линию, с одним общим электродвигателем. Такие станы используются для прокатки сортового металла.

Последовательные станы (рис. 9.4, в) состоят из нескольких клеток, расположенных последовательно одна за другой; каждая клетка при этом имеет индивидуальный электропривод. Прокатка металла в несколько пропусков происходит в начале в первой клетке, а затем во второй. Эти станы применяются для обжатия слитков и прокатки толстых листов.

В непрерывных станах (рис. 9.4, г) имеется ряд рабочих клеток, расположенных одна за другой; прокатка металла происходит одновременно во всех клетках. Такие станы обеспечивают наиболее высокую производительность, но требуют поддержания определенного соотношения частоты вращения валков клеток. Непрерывную прокатку металла применяют в заготовочных станах,

тонколистовых станах горячей и холодной прокатки, сортовых, проволочных и трубных станах.

Применяются также полунепрерывные станы (рис. 9.4, *д, е*), в которых одновременно с непрерывной группой клетей установлены линейные либо реверсивные клетки. Эти станы используются для прокатки угловой стали, балок и толстых листов. Зигзагообразное (рис. 9.4, *ж*) или шахматное (рис. 9.4, *з*) расположение клетей обеспечивает сокращение длины стана, упрощает настройку и расширяет сортамент стана с последовательным расположением клетей. Такие станы применяются при прокатке среднесортной стали.

Блюминги условно можно разделить на три группы: 1) малые — с диаметром валков до 1000 мм; 2) средние — с диаметром валков 1000...1100 мм; 3) большие — с диаметром валков 1150...1300 мм. Слябинги обычно имеют диаметр валков 1100...1250 мм. Блюминги 1300 служат для прокатки слитков массой до 13 т в блюмы размерами 300×300...370×370 мм. Наибольшее распространение получили блюминги 1150, на которых производится обжатие слитков массой 5...8 т. Слябинги предназначены для прокатки слитков массой до 45 т в слябы с площадью сечения 200 × 600...100 × 1500 мм². Основное конструктивное отличие слябинга от блюминга — это дополнительная рабочая клеть с вертикальными валками, производящими боковое обжатие металла.

План расположения оборудования блюминга 1300 показан на рис. 9.5. В начале цеха установлены нагревательные колодцы 1, а в конце — склад блюмов 24. Горячие слитки доставляются на железнодорожных платформах из сталеплавильного цеха к нагревательным колодцам, в которые они загружаются специальными клещевыми кранами для нагрева до 1200...1250 °С. Нагретые слитки вынимаются теми же кранами из нагревательных колодцев и грузятся на слитковоз 2.

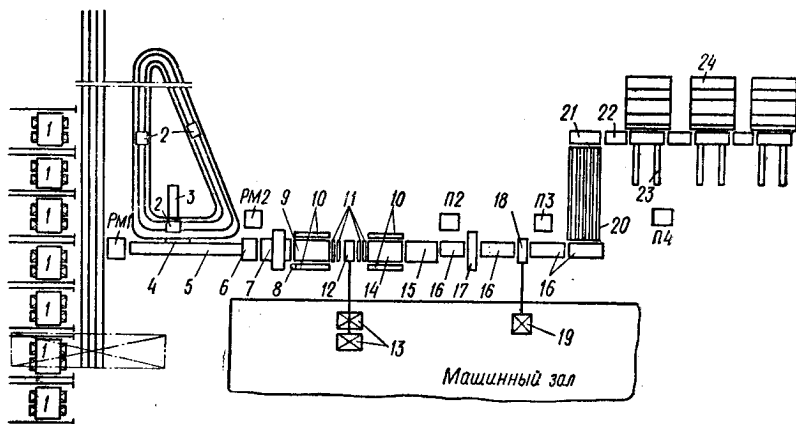


Рис. 9.5. План расположения оборудования блюминга 1300

В блюминге 1300 применяется так называемая *кольцевая слиткоподача*, когда три слитковоза перемещаются по кольцу в одном направлении и загружаются поочередно. Загруженный слитком слитковоз останавливается у стеллажа 4 приемного роликового конвейера 5; после этого сталкиватель 3 сталкивает слиток на приемный конвейер 5. Затем слиток поступает на весы 6, взвешивается и роликами весов подается на передний рабочий роликовый конвейер 9, который и направляет слиток в рабочую клеть 12.

Перед подачей слитка в клеть оператор устанавливает с помощью нажимного устройства необходимый раствор валков, затем включает привод переднего рабочего роликового конвейера и двигателя 13 рабочих валков таким образом, чтобы в момент входа металла в валки их скорость соответствовала нормальным условиям захвата. Как правило, эта скорость ниже скорости прокатки; поэтому после захвата металла происходит дальнейшее увеличение скорости валков и двигателя в это время преодолевают момент статического сопротивления и инерцию движущихся масс.

В конце пропуска оператор включает двигатели на торможение с таким расчетом, чтобы скорость выброса металла из валков не была слишком большой и слиток не уходил далеко от рабочей клетки. Обычно скорости захвата и выброса слитка приблизительно одинаковы. После выхода слитка из валков оператор включает нажимное устройство для получения нужного раствора валков, затем двигатель главного привода включается в обратном направлении вращения для последующего пропуска металла.

После второго, четвертого и других четных пропусков заготовка попадает на передний рабочий роликовый конвейер 9 и здесь, если это необходимо, она кантуется на 90° с помощью кантователя 8 или перемещается в нужный калибр посредством линеек манипулятора 10. Общее количество пропусков при прокатке одного слитка составляет 3...19 (оно колеблется в зависимости от стана и размеров заготовки).

После окончания прокатки металл транспортным роликовым конвейером 16 подается к ножницам 18, где отрезаются имеющие неправильную форму передний и задний концы проката и осуществляется порез его на мерные длины.

Остальными позициями на рис. 9.5 обозначено: *PM1, PM2* — рабочие места операторов; *П1, ..., П4* — посты управления; 7 — передний удлинительный роликовый конвейер; 11 — стальные ролики; 14 — задний рабочий роликовый конвейер; 15 — задний удлинительный роликовый конвейер; 17 — машина огневой зачистки; 19 — двигатель ножниц; 20 — цепной конвейер; 21 — роликовый конвейер; 22 — уборочные роликовые конвейеры; 23 — сталкиватель блюмов.

Основные параметры прокатного стана определяются процессом пластической деформации металла, пропускаемого между

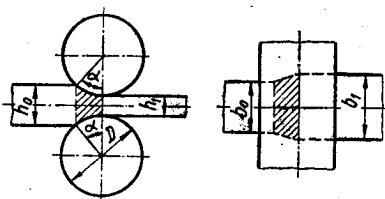


Рис. 9.6. Схема очага деформации металла при прокатке

двумя вращающимися валками. Схема очага деформации металла при прокатке изображена на рис. 9.6. До обжатия заготовка имеет следующие размеры: высоту h_0 , ширину b_0 и длину l_0 , а после обжатия валками — соответственно h_1 , b_1 и l_1 . Заштрихованный участок называется *поясом деформации* и определяется углом захвата α и диаметром валков D .

Процесс прокатки характеризуют следующие величины: $\Delta h = h_0 - h_1$ — абсолютное обжатие, мм; $\Delta b = b_1 - b_0$ — абсолютное уширение, мм; $\Delta l = l_1 - l_0$ — абсолютная натяжка (удлинение), мм; $\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0} \cdot 100$ — относительное обжатие, %; $\gamma = \frac{h_0}{h_1}$ — коэффициент обжатия; $\beta = \frac{b_1}{b_0}$ — коэффициент уширения; $\lambda = \frac{l_1}{l_0}$ — коэффициент вытяжки.

При пластической деформации в валках считается, что объем металла не изменяется и $V_0 = V_1$. Тогда

$$\frac{V_0}{V_1} = \frac{b_0 h_0 l_0}{b_1 h_1 l_1} = \frac{S_0 l_0}{S_1 l_1} = 1,$$

где S_0 и S_1 — площади поперечного сечения полосы до и после обжатия.

Величины, характеризующие процесс прокатки, связаны между собой соотношениями:

$$\gamma \lambda \beta = 1; s = S_0 / S_1; \varepsilon = 1 - 1/s; \Delta h = D(1 - \cos \alpha),$$

которые получаются из геометрических размеров очага деформации.

При холодной прокатке $\alpha = 3 \dots 8^\circ$, при горячей прокатке $\alpha = 15 \dots 35^\circ$. Дальнейшее увеличение угла α затрудняет процесс захвата. Угол захвата является одним из основных параметров, определяющих выбор диаметра валков.

Для блюминга максимальный угол захвата $\alpha \approx 25^\circ$; тогда из соотношения $\Delta h = D(1 - \cos \alpha)$ получаем $\Delta h_{\max} \approx 0,1D$. Следовательно, для обжатия $\Delta h = 100$ мм требуется валок диаметром не менее 1000 мм. Основной величиной, характеризующей размер обжимного прокатного стана, является диаметр его рабочего валка. В случае листового прокатного стана величиной, характеризующей его размеры, будет длина рабочего валка, которая определяет максимальную ширину прокатываемого листа. Размер трубoproкатного стана характеризуется наружным диаметром прокатываемых труб.

9.2. ЭЛЕКТРОПРИВОД ОБЖИМНЫХ РЕВЕРСИВНЫХ СТАНОВ

К реверсивным станам горячей прокатки относятся блюминги, слябинги, толстолистовые станы, клетки рельсобалочных и специальных станов. Это высокомеханизированные и автоматизированные агрегаты, режим работы которых характеризуется прокаткой слитка на стане в прямом и обратном направлениях с изменением направления вращения валков при каждом пропуске металла.

На действующих блюмингах для большинства пропусков время нахождения металла в валках составляет 2...3 с, а время пауз между пропусками — 1,5...4,5 с. Время нахождения металла в валках блюминга немного превышает суммарное время пауз за время цикла. Общее время пауз определяется в основном временем перемещения валков, временем кантовок и временем подачи следующего слитка к валкам. Режим работы двигателя отличается высокой частотой пусков, реверсов и торможений, достигающих 1200...1500 включений в час. Работа двигателя (рис. 9.7) характеризуется значительными резкими толчками момента, а большую часть времени он работает в переходных режимах. Обеспечение высокой производительности таких станов требует совершенных систем электропривода и систем автоматизации.

Энергия, потребляемая главным приводом стана из сети, расходуется на деформацию металла, преодоление сил трения металла о поверхность валков, работу холостого хода, преодоление сил инерции при изменении скорости электропривода и др. Для определения мощности электропривода стана необходимо вычислить и построить нагрузочные диаграммы, а также определить множество различных коэффициентов, изменяющихся в широких пределах в зависимости от режима прокатки. Такие вычисления трудоемки и дают недостаточно точные результаты. В связи с этим зачастую пользуются методом определения момента прокатки и мощности

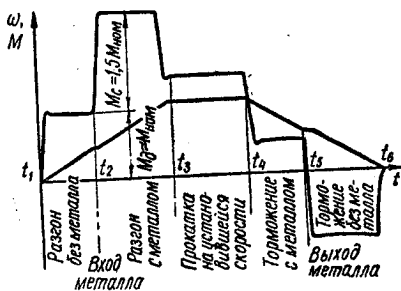


Рис. 9.7. Диаграммы угловой скорости $\omega = f(t)$ и момента $M = f(t)$ прокатного стана за время одного пропуска заготовки

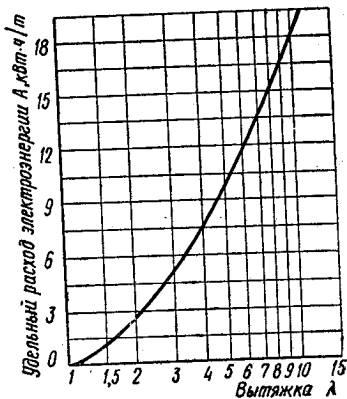


Рис. 9.8. Кривая удельного расхода электроэнергии при прокатке в зависимости от вытяжки

приводного электродвигателя по опытным кривым удельного расхода электроэнергии. Одна из таких кривых изображена на рис. 9.8. Она позволяет определить удельный расход электроэнергии при прокатке в зависимости от вытяжки. Такие кривые строят отдельно для разных групп станов, у которых конструкции и условия прокатки примерно одинаковы, с учетом металла различного качества и разных условий. Более подробно с методами построения кривых удельного расхода электроэнергии и использования их для расчета мощности двигателей прокатных станов можно ознакомиться в специальной литературе [2, 5, 15].

В дальнейшем еще вернемся к вопросу об удельном расходе электроэнергии при рассмотрении особенностей электроснабжения прокатных цехов.

Для обеспечения технологических процессов прокатки и высокой производительности блюмингов к их электроприводу предъявляются следующие требования:

1) повышенная перегрузочная способность электродвигателя главного привода, обеспечивающая быстрое ускорение двигателя после захвата металла;

2) широкие пределы регулирования скорости (10:1) и обеспечение рационального протекания переходных процессов при минимальных потерях;

3) минимальное время протекания переходных процессов, таких как пуск, реверс и торможение;

4) простота управления и обслуживания, максимальная надежность при эксплуатации с обеспечением частых пусков, реверсирования и торможения (до 1500 включений в час).

К электроприводу слябингов и других реверсивных станов горячей прокатки предъявляются дополнительные требования по обеспечению необходимого соотношения скоростей вертикальных и горизонтальных валков в зависимости от направления прокатки.

Указанным выше требованиям наилучшим образом отвечает система Г—Д безредукторного электропривода постоянного тока с различными схемами возбуждения генератора: от отдельного машинного или электромашинного возбудителя либо от тиристорного преобразователя. Эта система обеспечивает широкий диапазон регулирования скорости (до 12:1) без применения специальных устройств, рациональное протекание переходных процессов и возможность построения маломощных систем управления с применением бесконтактных логических схем.

Следует указать еще на применение тиристорных преобразователей для питания главных и вспомогательных электроприводов прокатного производства в системе ТП—Д, характеризующейся значительными перетоками реактивной энергии в питающих цепях, снижением качества электроэнергии и коэффициента мощности потребителей. С другой стороны, использование синхронных двигателей в качестве сетевых в системе Г—Д позволяет осуществить компенсацию реактивной энергии в питающих сетях и

устранить колебания напряжения на шинах подстанций при изменении нагрузки.

Приведенные здесь соображения имеют важное значение в технико-экономическом сопоставлении вариантов электропривода. В настоящее время электропривод мощных реверсивных обжимных станов выполняется, как правило, по системе Г—Д с ТВ; непрерывных станов горячей и холодной прокатки — по системе ТП—Д, которая в этом случае имеет лучшие технические и экономические показатели благодаря более равномерной нагрузке привода.

Для обеспечения высокой производительности и высоких экономических показателей работы блеминга применяются две системы электропривода: с групповым и индивидуальным приводами валков. Основные элементы этих систем показаны на рис. 9.9. Как видно, рабочие валки *ВР* прокатного стана приводятся во вращение от двигателей постоянного тока. При групповом приводе (рис. 9.9, а) один двигатель *М* обеспечивает вращение рабочих валков через шестеренную клетку *ШК* и универсальные шпиндели *УШ*. При индивидуальном приводе (рис. 9.9, б) каждый рабочий валок получает вращение от своего двигателя *М1* или *М2* через универсальные шпиндели.

Якоря двигателя питаются по системе Г—Д, а обмотки возбуждения получают питание от возбудителя *В*. Требуемые технологическим процессом режимы работы привода обеспечиваются системой управления привода стана *СУПС*, в которую включен и командоконтроллер *КК*.

Так как частоту вращения двигателя постоянного тока можно регулировать как за счет подводимого к якорю напряжения, так и путем изменения магнитного потока, то *СУПС* имеет узел управления напряжением *УУН*, воздействующий на источник энергии *ИЭ* якорей двигателей, и узел управления возбуждением *УУВ*, воздействующий на *ИЭ* обмоток возбуждения двигателей. Необходимый скоростной режим двигателей обеспечивается педальным

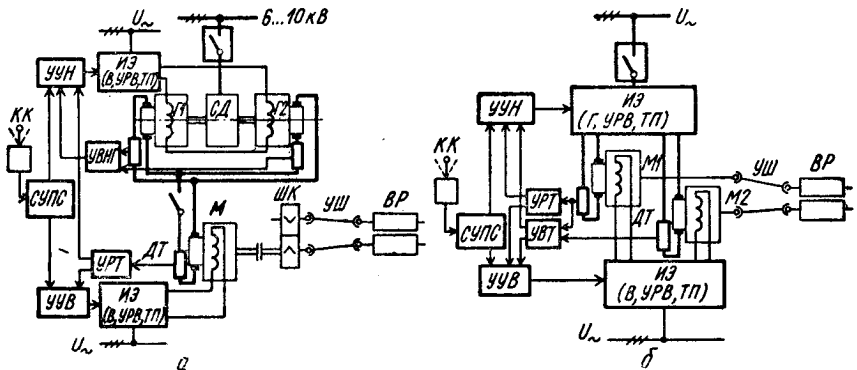


Рис. 9.9. Основные элементы систем электропривода блеминга с групповым (а) и индивидуальным (б) приводами валков

командоконтроллером *КК*, воздействующим через *СУПС* и узлы *УУН* и *УУВ* на изменение напряжения или магнитного потока двигателей.

Как уже отмечалось, работа блюминга характеризуется большими пиковыми нагрузками в динамических режимах. Для ограничения максимальной силы тока в системе электропривода блюминга служит регулятор нагрузки *УРТ*, который при достижении максимального тока предотвращает дальнейший его рост за счет снижения частоты вращения двигателя через узлы *УУВ* и *УУН*.

В случае применения системы Г—Д при групповом приводе рабочих валков питание приводного двигателя *М* осуществляется, как правило, от двух генераторов постоянного тока *Г1* и *Г2*, работающих параллельно (рис. 9.10). При параллельной работе генераторов необходимо обеспечить их равномерную нагрузку. В генераторах всегда имеется магнитная и электрическая несимметрия, приводящая к различным кривым их намагничивания, а следовательно, и к разным их э. д. с. при одном и том же токе возбуждения.

Для выравнивания нагрузок каждый генератор снабжается двумя одинаковыми последовательными (серийными) обмотками *СО*. По одной обмотке протекает собственный ток генератора, а по другой — ток второго генератора. Такое соединение обмоток получило название *перекрестного*. Магнитные потоки, создаваемые этими обмотками, направлены встречно. При одинаковой нагрузке генераторов магнитные потоки уравнивающих обмоток взаимно компенсируются. При перегрузке одного из них магнитный поток перегруженного генератора ослабляется, а недогруженного усиливается, в результате чего происходит автоматическое выравнивание нагрузок генераторов.

Как показывает анализ пуска приводного двигателя прокатного стана, в системе Г—Д длительность переходного процесса при разгоне достигает значительных величин (порядка 3...4 с), что отрицательно сказывается на производительности стана. Время разгона двигателя до основной частоты вращения для современных станов должно лежать в пределах 0,75...1,5 с.

Для уменьшения времени переходных процессов применяют форсирование возбуждения генератора, используя два способа:

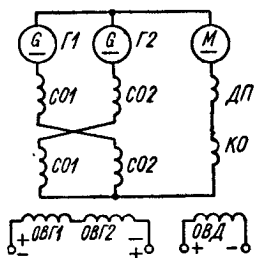


Рис. 9.10. Уравнивательная схема включения двух параллельно работающих генераторов в системе Г—Д электропривода прокатного стана

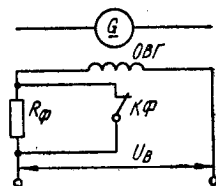


Рис. 9.11. Принципиальная схема форсирования напряжения на зажимах обмотки возбуждения генератора

первый обеспечивает форсирование за счет уменьшения постоянной времени цепи обмотки возбуждения генератора, второй — за счет приложения к обмотке возбуждения генератора на время переходного процесса повышенного напряжения, намного превышающего требуемое напряжение при установившемся режиме работы. Отношение повышенного напряжения $U_{в.ф}$ к номинальному $U_{в.ном}$ называется коэффициентом форсирования α : $\alpha = U_{в.ф}/U_{в.ном}$.

Простейшая реализация этого способа форсирования показана на рис. 9.11. На время переходного процесса к обмотке возбуждения генератора *ОВГ* прикладывается напряжение $\alpha U_{в.ном}$. Размыкающий контакт контактора форсирования *КФ* шунтирует форсировочный резистор $R_{ф}$. По достижении заданного напряжения генератора размыканием контакта *КФ* в цепь обмотки *ОВГ* вводится форсировочный резистор $R_{ф}$, сопротивление которого обуславливает прохождение в *ОВГ* заданного установившегося тока. Включение контактора *КФ* производится с помощью реле напряжения, которое срабатывает, когда напряжение генератора достигает номинального значения. Коэффициент форсирования α принимают равным 3...4. Дальнейшее увеличение α не дает практически заметного уменьшения времени разгона генератора. В электроприводе прокатных станов применяют и другие, более сложные способы форсирования. Показанный на рис. 9.11 способ форсирования напоминает форсирование возбуждения синхронных двигателей, рассмотренных в гл. 8.

Как было показано на рис. 9.9, генераторы *Г1* и *Г2* электропривода прокатного стана приводятся во вращение сетевым синхронным двигателем *СД* (получает питание от сети высокого напряжения), совместно с которым составляют преобразовательный агрегат для питания приводного двигателя *М*. Все электрооборудование (за исключением педального командоконтроллера *КК*) системы электропривода прокатного стана — двигатели, преобразовательные и возбуждающие агрегаты и аппаратура управления режимом работы привода — устанавливается в машинном зале, изолированном от основного технологического оборудования блюминга.

Управление прокатным станом производится с главного поста, расположенного в цехе над подводящим роликовым конвейером с передней стороны (см. рис. 9.5), с помощью педальных и ручных командоконтроллеров.

Основными тенденциями совершенствования электропривода обжимных реверсивных станов горячей прокатки является увеличение мощности главного двигателя, повышение мощности и скорости вспомогательных механизмов с применением автоматизации и программного управления. Для целей автоматизации большое значение имеет широкое внедрение ранее описанной (см. § 5.10) универсальной блочной системы регулирования (УБСР), на базе которой выполнен целый ряд современных схем подчиненного регулирования электропривода прокатных станов.

9.3. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕВЕРСИВНЫМИ СТАНАМИ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ

В начале развития электропривода реверсивных станов горячей прокатки применялась преимущественно простая система Г—Д с релейно-контакторной схемой управления. Впоследствии на смену ей пришла более совершенная система Г—Д с электромашинной автоматикой. Обе эти системы отошли в прошлое в связи с широким внедрением полупроводниковой техники. С системами Г—Д или Г—Д с ЭМУ электроприводов прокатных станов можно ознакомиться в специальной литературе [2, 5].

В последнее время в системе Г—Д электропривода прокатных станов начали широко применять тиристорные преобразователи для возбуждения генераторов. Эти устройства подробно были рассмотрены ранее при описании электроприводов шахтных подъемных машин, мостовых кранов и других механизмов.

На рис. 9.12 изображена принципиальная схема системы электропривода реверсивного обжимного стана с тиристорным преобразователем ТП возбуждения генератора *G*, управляемым от суммирующего магнитного усилителя СМУ. В схеме предусмотрено форсирование возбуждения генератора при разгоне и торможении с коэффициентом форсирования $\alpha = 3 \dots 4$.

Схема выполнена с отсечкой по напряжению и току двигателя *M*. При замыкании контактов *KB* задающее напряжение U_3 вызывает появление тока в обмотке о. с. по напряжению *OH*. Максимальная сила этого тока, обуславливающая форсировочное напряжение возбuditеля генератора, определяется опорным напряжением U_{01} , равным падению напряжения на резисторе *R1* от

тока источника U_1 . Сопротивление резисторов *R1* и *R2* в несколько раз меньше, чем сопротивление параллельного участка цепи обмотки *OH*. Соответственно ток, протекающий по резисторам *R1* и *R2* от источника U_1 , в несколько раз превышает ток, протекающий по этим резисторам от источника U_3 в случае, когда разность потенциалов между точками *a* и *б* больше напряжения U_{01} . Это позволяет избежать заметного влияния тока, протекающего от источника U_3 по резисторам *R1* и *R2*, на значение опорного напряжения. На рис. 9.12 показано направление протекания тока в цепи обмотки *OH* при разгоне двигателя «вперед».

Сигнал о. с. по напряжению двигателя $U_{0, о. н}$ снимается с резистора *R10* и направлен при разгоне встреч-

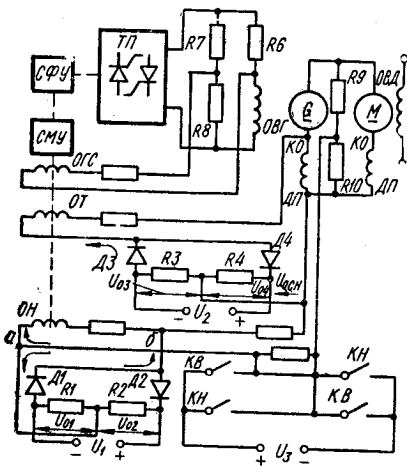


Рис. 9.12. Принципиальная схема системы Г—Д с ТВ электропривода реверсивного обжимного стана

но U_3 . Напряжение U_3 в 8...10 раз больше опорного. Это позволяет сохранить форсировочную м. д. с. обмотки $ОН$ до тех пор, пока разница между заданным и действительным напряжениями двигателя не достигнет 10...20% номинального напряжения двигателя. При дальнейшем увеличении напряжения на двигателе $U_3 - U_{о.с.н} < U_{о1}$, и диод $Д1$ запирается. О. с. по напряжению вступает в работу, обеспечивая заданное значение напряжения на двигателе.

Сигнал о. с. по току снимается с компенсационной обмотки $КО$ и обмоток дополнительных полюсов $ДП$ приводного электродвигателя. Опорные напряжения, обусловленные падением напряжения на резисторах $R3$ и $R4$, включены последовательно с обмоткой о. с. по току $ОТ$. Значения опорных напряжений выбирают равными падению напряжения на обмотках $КО$, $ДП$ при протекании по ним тока, равного 2...2,2 $I_{ном}$. При токе двигателя, меньшем этого значения, цепь обмотки $ОТ$ заперта диодами $Д3$ и $Д4$. Если же при нагрузке ток якоря двигателя увеличится настолько, что падение напряжения на $КО$ и $ДП$ превысит опорное напряжение $U_{о3}$, то по обмотке $ОТ$ потечет ток, действующий встречно току в обмотке $ОН$. Таким образом осуществляются ограничение нагрузки двигателя. Здесь также ток, протекающий по резисторам $R3$ и $R4$ от источника U_2 , выбирают в несколько раз большим максимального тока, который протекает по обмотке $ОТ$ при перегрузках, чтобы избежать влияния этого тока на уставку токоограничения. На рис. 9.12 показано направление протекания тока в обмотке $ОТ$ при работе двигателя в направлении «вперед».

Динамический мост, состоящий из обмотки возбуждения $ОВГ$ генератора и резисторов $R6, \dots, R8$, обеспечивает с помощью обмотки гибкой связи $ОГС$ стабилизацию схемы управления.

При размыкании контактов $КВ$ напряжение U_3 отключается и начинается торможение двигателя. Ток в обмотке $ОН$ меняет направление. Его максимальное значение определяется опорным напряжением $U_{о2}$, которое прикладывается параллельно цепи обмотки $ОН$ через диод $Д2$, что обеспечивает форсированное снижение напряжения генератора после того, как $U_{о.с.н}$ становится меньше $U_{о2}$, диод $Д2$ запирается и о. с. по напряжению вступает в действие, обеспечивая гашение поля возбуждения генератора.

При замыкании контактов $КН$ начинается разгон двигателя в направлении «назад». Полярность U_3 в цепи обмотки $ОН$ изменяется на противоположную, в результате чего полярность напряжения генератора тоже меняется. В случае перегрузки отсечка по току определяется опорным напряжением $U_{о4}$. В остальном разгон двигателя в направлении «назад» протекает так же, как и в направлении «вперед».

В современных электроприводах прокатных станов широко используется так называемое *двухзонное регулирование их скорости*. Частота вращения двигателя в этом случае регулируется путем изменения подводимого к якорю напряжения и магнитного потока двигателя. Якорь двигателя (рис. 9.13, а) получает питание

жение на якоре должно снижаться только при полном магнитном потоке двигателя.

Таким образом, схема управления состоит из двух систем, объединенных посредством узла согласования режимов *УСР*. Такие системы называются *системами с зависимым управлением полем возбуждения двигателя*. Управление скоростным режимом электропривода осуществляется от одного командоаппарата *КА*. Задание $U_{з.с}$ на скорость поступает на вход системы регулирования подводимого к якору напряжения *СРЯ*. Управляющие сигналы от *СРЯ* подаются на системы управления *СИФУ1*, *СИФУ2* преобразователя *ТПЯ*. Одновременно сигнал от *СРЯ* поступает на узел согласования режимов и далее на вход системы регулирования возбуждением двигателя *СРВ*. Последняя посредством системы импульсно-фазового управления *СИФУВ* управляет напряжением преобразователя *ТПВ* и, как следствие, током возбуждения двигателя и его угловой скоростью $\omega > \omega_{ном}$ (зона II на рис. 9.13, б).

Таким образом, узел *УСР* осуществляет согласование режимов работы преобразователей *ТПЯ* и *ТПВ*. Он дает разрешение на уменьшение напряжения преобразователя *ТПЯ* только при номинальном потоке возбуждения, а разрешение на уменьшение поля возбуждения — только при номинальном напряжении двигателя.

9.4. ЭЛЕКТРОПРИВОД НЕПРЕРЫВНЫХ СТАНОВ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ

К непрерывным станам горячей прокатки относятся многоклетевые станы, в которых для обеспечения технологического процесса прокатки металл движется в одном направлении, а обжатие его происходит одновременно в нескольких рабочих клетях, составляющих непрерывную группу. В каждой рабочей клетке этой группы обжатие заготовки производится только один раз, что вызывает необходимость установки нескольких последовательных рабочих клетей для получения нужного сечения проката. Непрерывные станы горячей прокатки отличаются высокой производительностью и большими скоростями прокатки, необходимыми для обеспечения нужной температуры металла.

Непрерывные и полунепрерывные станы горячей прокатки включают в себя одну или несколько непрерывных групп рабочих клетей и выпускаются как заготовочные, тонколистовые, сортовые, проволочные и трубные.

Схема расположения оборудования непрерывного широкополосного стана 2000 горячей прокатки изображена на рис. 9.14. Стан рассчитан на прокатку полос толщиной 1,2...12 мм и шириной 900...1850 мм. Подогрев слябов массой до 36 т производится в нагревательных печах 1; конвейером 2 слябы подаются на вертикальный 3 и горизонтальный 4 окалиноломатели. Горизонтальный

окалиноломатель, помимо освобождения слябов от окалины, является первой обжимной клетью черновой группы рабочих клетей 5, в которых прокатка заготовки происходит независимо в каждой клетке. После обрезки концов на летучих ножницах 6 полоса подается в чистовые рабочие клетки непрерывной группы 7, состоящей из семи рабочих клетей. Здесь происходит одновременная прокатка заготовки во всех клетях. Готовый прокат поступает на моталки 8 и конвейер горячекатаных рулонов 9. Позицией 10 показано отделение отделки полос.

Технологический процесс непрерывной прокатки отличается следующим: 1) одновременной прокаткой металла во всех клетях непрерывной группы и связью между этими клетями через прокатываемый металл; 2) ударным приложением нагрузки при захвате металла на полной рабочей скорости прокатки.

Одновременная прокатка металла через несколько клетей (рис. 9.15) требует выполнения основного условия непрерывной прокатки — постоянства секундного объема металла по клетям:

$$S_1v_1 = S_2v_2 = S_3v_3 = \dots = S_nv_n,$$

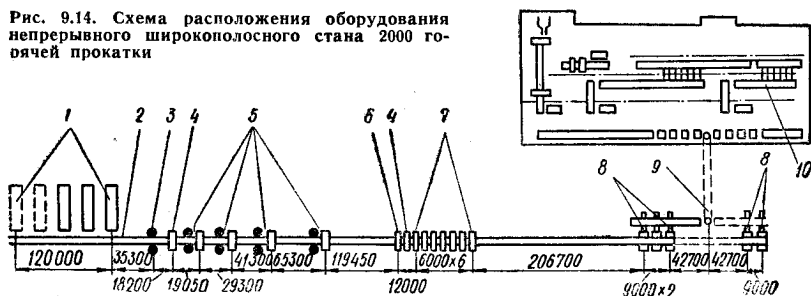
где $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ — площади сечения металла перед входом в очередную клеть; $v_1, v_2, v_3, \dots, v_n$ — скорости движения металла перед входом в соответствующую клеть. Основное условие непрерывной прокатки металла означает, что в единицу времени через каждую клеть проходит одно и то же количество металла.

Несоблюдение постоянства секундного объема металла приводит к появлению усилий растяжения или сжатия металла между рабочими клетями. В зависимости от соотношения угловых скоростей валков клетей применяют следующие технологические режимы: прокатку с натяжением и прокатку с образованием петли.

Ударное приложение нагрузки при захвате металла на полной скорости приводит к появлению переходных процессов, которые могут привести к рассогласованию угловых скоростей валков и возникновению недопустимых колебаний натяжения или петли.

Требования, предъявляемые к электроприводу рабочих клетей непрерывных станов горячей прокатки, зависят от назначе-

Рис. 9.14. Схема расположения оборудования непрерывного широкополосного стана 2000 горячий прокатки



ния стана и используемой технологии прокатки. Технологический процесс прокатки в клетях непрерывной группы требует выполнения следующих основных требований: 1) регулирования угловой скорости рабочих валков клетей для обеспечения необходимого натяжения в установившихся и переходных режимах; 2) обеспечения любой запрошенной скорости; 3) совместного и раздельного управления клетями; 4) регулирования скорости прокатки; 5) обеспечения требуемого быстродействия системы регулирования с минимальным временем переходных процессов и стабильностью в работе; 6) автоматического регулирования технологического процесса прокатки; 7) осуществления аварийного реверса каждой клетки и всего стана; 8) защиту двигателей от перегрузок и аварий.

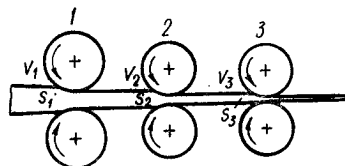


Рис. 9.15. Прокатка металла через непрерывную группу клетей

Перечисленные требования могут быть выполнены применением в электроприводе рабочих валков клетей непрерывной группы регулируемых двигателей постоянного тока независимого возбуждения, питаемых от индивидуальных источников напряжения, с использованием тиристорных преобразователей.

Другие рабочие клетки непрерывных станов горячей прокатки не связаны между собой через металл, поэтому повышенные требования регулирования скорости к ним не предъявляются. В этих случаях в качестве приводных двигателей нереверсивных станов применяют электродвигатели переменного тока — асинхронные с маховиком и синхронные. Как указывалось выше, применение статических преобразователей для питания главных и вспомогательных электроприводов прокатного производства приводит к снижению качества электроэнергии и коэффициента мощности потребителей. В связи с этим использование синхронных приводных двигателей в целях повышения коэффициента мощности и устранения колебания напряжения на шинах подстанций при изменении нагрузки можно считать более целесообразным при технико-экономическом сравнении вариантов привода.

Обычно непрерывные тонколистовые станы состоят из черновой и чистовой групп клетей. В первой прокатка заготовки в каждой клетке происходит независимо от других клетей (заготовка помещается полностью на роликовом конвейере между клетями), во второй прокатка заготовки во всех клетях осуществляется одновременно (непрерывная прокатка). В связи с этим требования, предъявляемые к электроприводе черновой и чистовой групп клетей, существенно разные.

Поскольку в черновой группе клетей проблема соответствия скоростей прокатки между клетями не возникает и нет необходимости в частом изменении направления вращения, наиболее целесообразно в их приводе использовать электродвигатели

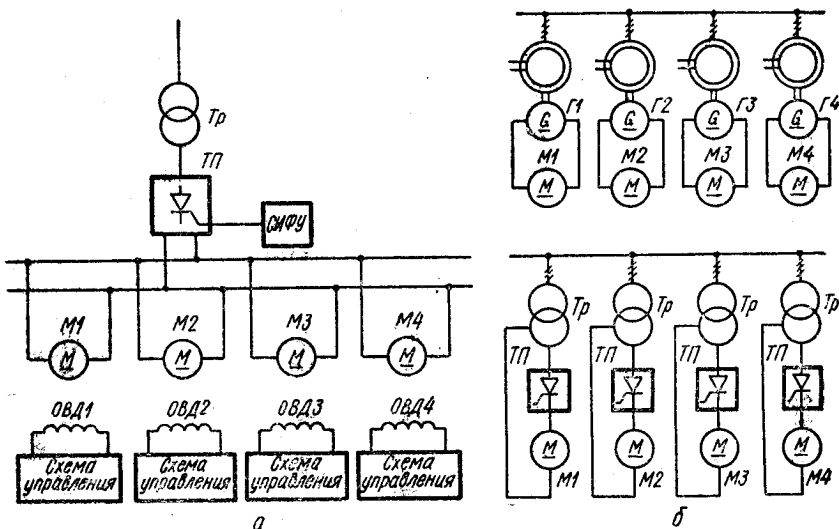


Рис. 9.16. Питание электродвигателей непрерывных станов:
 а — от общих шин; б — от индивидуальных источников

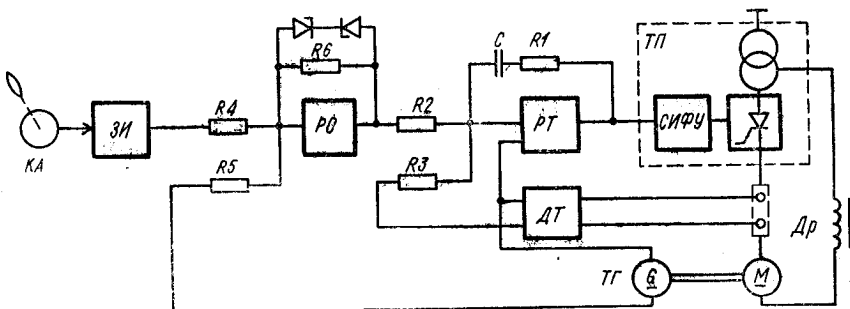


Рис. 9.17. Функциональная схема системы ТП—Д электропривода непрерывного прокатного стана с подчиненным регулированием

переменного тока. В настоящее время здесь преимущественно применяются синхронные двигатели.

Основное технологическое требование непрерывной прокатки в чистовых клетях стана (точное согласование скоростей прокатки металла между клетями) обеспечивается применением в электроприводе различных регуляторов. В полосовых непрерывных прокатных станах двигатели чистовой группы получают питание по системе Г—Д от общих шин либо от индивидуальных источников питания каждой клетки.

Двигатели небольшой и средней мощности (100...600 кВт) клеток с малыми скоростями прокатки наиболее часто питаются от общих шин (рис. 9.16, а). Изменением тока возбуждения двигателей достигаются необходимая скорость прокатки для каждой клетки и ее регулирование при захвате металла. Питание

двигателей от общих шин неприемлемо для мощных электроприводов, так как в этом случае требуется общий преобразователь большой мощности. Кроме того, регулирование скорости прокатки отдельных клетей путем изменения тока возбуждения двигателей не позволяет получить большое быстродействие. При больших мощностях электроприводов целесообразно блочное питание их от индивидуальных источников (рис. 9.16, б).

На рис. 9.17 показана функциональная схема системы ТП—Д электропривода непрерывного прокатного стана с подчиненным регулированием. В этой схеме двигатель питается от тиристорного преобразователя ТП, который состоит из трансформатора, тиристорного выпрямителя и устройства СИФУ. Система регулирования включает в себя регулятор тока РТ и регулятор скорости РС, на входы которых подаются напряжения от датчика тока ДТ и тахогенератора ТГ. Датчик тока усиливает падение напряжения на шунте, пропорциональное току двигателя. Командоаппарат КА подает входное напряжение на задатчик интенсивности ЗИ. О. с. по току и скорости обеспечивает выполнение оптимального закона изменения скорости прокатки.

9.5. ЭЛЕКТРОПРИВОД СТАНОВ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ

Современное промышленное производство, особенно приборо- и автомобилестроение, резко увеличило спрос на тонколистовую сталь высокого качества. Горячая прокатка не может обеспечить получение тонкой стальной полосы требуемого качества толщиной менее 1 мм, так как образующаяся при прокатке окалина по толщине соизмерима с толщиной прокатываемого металла. Поэтому в настоящее время для получения тонких листов стали, жести и ленты (минимальной толщиной соответственно 0,15; 0,07 и 0,0015 мм) используют листовые станы холодной прокатки.

Холодная прокатка листа требует значительного повышения удельного давления по сравнению с горячей прокаткой. Для уменьшения эффекта сплющивания валков при холодной прокатке стремятся применить рабочие валки возможно меньшего диаметра. При прокатке тонких и сверхтонких полос используются рабочие валки малого диаметра (до 2 мм) и значительной длины. Поэтому на таких станах устанавливают большое количество опорных валков (до 20...26 шт.) большого диаметра, причем в качестве приводных используют опорные валки.

Листовые станы холодной прокатки подразделяются на *непрерывные*, состоящие из нескольких клетей, и *реверсивные одноклетевые*. Технологические схемы таких станов изображены на рис. 9.18.

Прокатка в непрерывных станах (рис. 9.18, а) происходит одновременно во всех клетях 1, ..., 4 при неизменном направлении движения металла. Чем больше клетей, тем большее обжатие

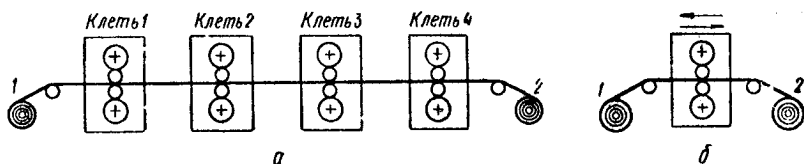


Рис. 9.18. Технологические схемы непрерывного (а) и реверсивного (б) листовых станов холодной прокатки

металла и тем тоньше можно получить прокатный лист. Обычно применяют трех-, четырех-, пяти- и шестиклетевые непрерывные станы. Для стабилизации натяжения полосы служат разматыватель 1 и моталка 2.

Прокатка полосы в реверсивных станах холодной прокатки (рис. 9.18, б) происходит в несколько пропусков при реверсировании рабочих валков клетки. У такого стана на входной стороне установлен разматыватель, который принимает рулон, предназначенный для прокатки, и перематывает его на входную моталку 1. На выходной стороне стана установлена выходная моталка 2. При работе стана в прямом направлении выходная моталка будет наматывающей, а входная — разматывающей. При изменении направления прокатки функции моталок меняются.

Реверсивные станы холодной прокатки по сравнению с непрерывными имеют меньшую стоимость, менее громоздки и более удобны в настройке при переходе с одного на другой сорт листа, однако они характеризуются более низкой скоростью прокатки и невысокой производительностью. В связи с этим реверсивные станы используются для прокатки небольших партий листов широкого сортамента.

Особенностью непрерывных станов холодной прокатки является необходимость обеспечения значительного натяжения полосы между всеми клетями стана перед моталкой, а также между разматывателем и первой клетью стана. Натяжение обеспечивает получение одинаковой толщины полосы с ровной поверхностью при меньшем давлении на валки при прокатке. Потеря натяжения полосы при высоких скоростях прокатки не допустима, так как может привести к поломке валков и аварии. Необходимое натяжение полосы (до 60% предела текучести при наклепанном металле) при переходных и установившихся режимах обеспечивается автоматическим регулированием.

В конце технологического цикла холодной прокатки для получения поверхностной прочности металла и улучшения качества поверхности листа проводят специальную прокатку на так называемых *дрессировочных станах*. Обычно применяют одно- и двухклетевые такие станы, обеспечивающие небольшое (до 2%) обжатие полосы.

Технологические операции при холодной прокатке листа обычно состоят из очистки металла от окалины и ржавчины, хо-

лодной прокатки полосы, термической обработки (отжига) в камерных печах, дрессировки металла и окончательной отделки полосы, состоящей в ее правке, резке, лужении и т. д.

Задача обеспечения технологического режима холодной прокатки выдвигает следующие основные требования, предъявляемые к электроприводу непрерывных станов холодной прокатки:

- 1) широкий (30:1) диапазон регулирования скорости прокатки от заправочной (0,5...1 м/с) до максимальной (30 м/с);
- 2) обеспечение согласования скоростей прокатки между клетями и намоточными устройствами при всех режимах работы стана;
- 3) выдерживание необходимого натяжения полосы в соответствии с технологическим режимом прокатки;
- 4) возможность регулирования частоты вращения двигателей любой клетки стана при неизменных, заданных режимах работы стана;
- 5) обеспечение получения механических характеристик различной жесткости двигателей главного электропривода;
- 6) возможность осуществления толчка и работа на малой скорости в прямом и обратном направлениях прокатки;
- 7) обеспечение необходимого быстродействия и стабильности работы систем автоматического регулирования;
- 8) обеспечение автоматического торможения и остановка при потере натяжения полосы.

Перечисленным требованиям для привода рабочих клеток, а также для наматывающих и разматывающих устройств удовлетворяют двигатели постоянного тока независимого возбуждения.

Электропривод валков рабочих клеток и моталок непрерывных станов выполняют индивидуальным с помощью неререверсивных двигателей постоянного тока независимого возбуждения. В высокоскоростных станах часто применяют также индивидуальный электропривод каждого валка от одно- или многоякорного двигателя постоянного тока. Применение многоякорных двигателей объясняется необходимостью максимального уменьшения моментов инерции приводов.

Суммарная мощность, потребляемая современным непрерывным станом холодной прокатки, достигает 60 тыс. кВт и выше, а мощности отдельных двигателей доходят до 9 тыс. кВт и более.

В электроприводах валков рабочей клетки и моталок реверсивных станов устанавливают реверсивные, регулируемые двигатели постоянного тока.

В настоящее время пользуются различными схемами питания двигателей клеток непрерывных станов холодной прокатки. Наиболее часто двигатели $M1, \dots, M5$ каждой клетки и двигатель моталки M питают от отдельных генераторов $G1, \dots, G5$ и GM , приводимых во вращение синхронными двигателями CD (рис. 9.19). Такая схема питания электродвигателей надежна и в достаточ-

пряжение генератора и создает м. д. с., направленную противоположно м. д. с. задающей обмотки. Результирующая м. д. с. этих двух обмоток определяет напряжение на якоре ЭМУ1 в период установившегося режима.

При увеличении нагрузки двигателя происходит снижение напряжения генератора, вследствие чего результирующая м. д. с. ЭМУ1 возрастает, что в конечном счете приводит к повышению напряжения генератора до первоначального значения. Для обеспечения устойчивости системы регулирования усилитель ЭМУ1 имеет стабилизирующую обмотку управления СО, включенную последовательно со вторичными обмотками двух стабилизирующих трансформаторов ТС1 и ТС2. В схеме регулирования возбуждения генератора предусмотрены также добавочные резисторы $R_{д1}, \dots, R_{д4}$. Схема обеспечивает поддержание напряжения на зажимах генератора в пределах $\pm 2\%$.

Изменение направления вращения двигателя производится срабатыванием реверсивных контактов В или Н. При отключении питания задающей обмотки ЗО размыкающие контакты В и Н подключают резистор $R_{д5}$, чем и обеспечивается самогашение поля возбуждения.

Регулирование частоты вращения двигателя производится изменением сопротивления секции плоского контроллера ПК1, включенного последовательно с управляющей обмоткой ЭМУ1. При введении сопротивления ПК1 происходит разгон, а при выведении — торможение двигателя. Регулятор РНП служит для точной подрегулировки установленной плоским контроллером ПК1 частоты вращения двигателя.

Управление возбуждением двигателя производится с помощью возбuditеля двигателя ВД, включенного последовательно с питающей сетью и обмоткой возбуждения двигателя ОВД. Напряжения сети и возбuditеля ВД действуют встречно, как это условно показано на рис. 9.20. Таким образом, напряжение на зажимах обмотки возбуждения двигателя является результирующим этих двух величин.

Возбудитель двигателя имеет две обмотки возбуждения (ОВ1 и ОВ2). Основная обмотка ОВ1 питается от сети, ток в ней регулируется секцией плоского контроллера ПК2 и регулятором РТР. Для обеспечения максимального возбуждения двигателя М в момент пуска необходимо, чтобы напряжение возбuditеля ВД было минимальным; для этого ток в обмотке ОВ1 снижают путем полного введения сопротивления секции плоского контроллера ПК2, включенного последовательно с обмоткой ОВ1. Тогда при пуске двигателя напряжение на его обмотке возбуждения ОВД будет приближаться к напряжению сети. Вторая обмотка возбуждения ОВ2 возбuditеля получает питание от шин генератора через трансформатор ТС3 только при переходных процессах. Чтобы обеспечить быстрое действие в переходных режимах, связь со вторичной обмоткой ТС3 осуществляется через усилитель ЭМУ2. Для регулирования тока в обмотке управления

ОУ усилителя ЭМУ2 обмотка шунтирована регулируемым резистором $R_{дб}$ и диодом Д.

Для получения проката высокого качества на высокоскоростных станах холодной прокатки схемы управления их двигателями главного привода значительно усложнены по сравнению с рассмотренной схемой. В цепь обмотки управления электромашинного усилителя ЭМУ1 вводится эталонное напряжение, получаемое от специального задающего генератора, производится компенсация падения напряжения в цепи генератор — двигатель и др. Чтобы обеспечить постоянное натяжение полосы, схемы управления двигателями всех клеток стана питаются от общих шин постоянного напряжения возбуждения двигателей, шин возбуждения генераторов и шин эталонного напряжения.

Высокое качество прокатки требует обеспечения постоянства натяжения полосы с точностью 5...10% во всех режимах работы при смотке и намотке полосы. В процессе намотки полосы на барабан диаметр рулона и линейная скорость намотки увеличиваются. Для поддержания постоянства натяжения необходимо с увеличением диаметра рулона уменьшать частоту вращения барабана моталки таким образом, чтобы линейная скорость намотки оставалась неизменной. При разматывании полосы с рулона происходит уменьшение диаметра барабана и также возникает необходимость поддержания постоянства натяжения полосы.

Указанным требованиям в наибольшей степени удовлетворяет электропривод постоянного тока, регулируемый изменением напряжения на якоре и магнитного потока двигателя. Чаще всего используется многодвигательный электропривод, причем якоря двигателей можно включать последовательно с общим источником питания либо подключать к индивидуальным источникам.

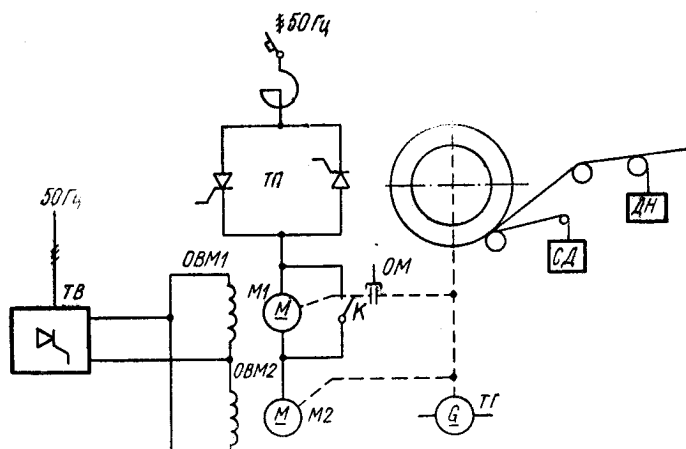


Рис. 8.21. Функциональная схема электропривода моталки непрерывного стана холодной прокатки

Регулирование линейной скорости намотки, связанное с изменением диаметра рулона, производится изменением магнитного потока двигателя, а регулирование, необходимое для изменения скорости прокатки, — изменением напряжения источника питания якоря.

На рис. 9.21 показана функциональная схема электропривода моталки двадцативалкового стана 700, предназначенного для холодной прокатки полосы шириной 400...800 мм и толщиной 1,5...0,05 мм. Каждая моталка стана приводится во вращение двумя двигателями $M1, M2$ мощностью по 70 кВт каждый. Якорные цепи двигателей соединены последовательно и питаются от реверсивного тиристорного преобразователя $ТП$. При прокатке с малыми натяжениями один из двигателей ($M1$) механически отключается с помощью муфты OM , а его якорь шунтируется контактом K .

Регулятор натяжения полосы состоит из двух основных узлов: регулятора тока, воздействующего на напряжение якорных цепей приводных двигателей, и регулятора э. д. с., воздействующего на поток возбуждения двигателей. При этом регулятор э. д. с. изменяет поток возбуждения двигателей пропорционально диаметру рулона и обеспечивает выравнивание нагрузок двигателей, а регулятор тока поддерживает заданное натяжение полосы. Здесь используется комбинированная (двухзонная) система управления. Прокатку всего рулона осуществляют при постоянной линейной скорости. По мере увеличения радиуса рулона поток возбуждения двигателя увеличивается до номинального. Таким образом, в первой зоне регулирование частоты вращения двигателя осуществляется изменением его потока возбуждения.

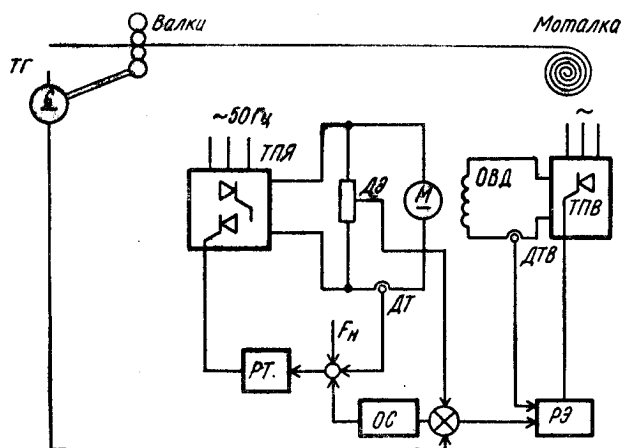


Рис. 9.22. Функциональная схема автоматизированного электропривода и регулятора натяжения моталки непрерывного стана холодной прокатки

Ток в якорной цепи и э. д. с. двигателя в этой зоне поддерживаются постоянными. Частота вращения двигателя уменьшается в соответствии с ростом радиуса рулона. Кратность регулирования угловой скорости двигателя магнитным полем в первой зоне определяется как отношение $D = \omega_{\max}/\omega_0 = R_0/R_6$, где ω_{\max} , ω_0 — максимальная и основная угловые скорости двигателя моталки; R_6 , R_0 — соответственно радиус барабана моталки и радиус рулона. Вторая зона управления — регулирование частоты вращения двигателя изменением напряжения якоря.

На рис. 9.22 изображена функциональная схема автоматизированного электропривода и регулятора натяжения полосы моталкой непрерывного стана холодной прокатки. В схеме имеется два регулятора: регулятор тока якоря PT и регулятор э. д. с. двигателя $PЭ$.

На вход регулятора PT подаются сигналы: уставки натяжения F_n , сигнал о. с. по току якоря от датчика тока DT и сигнал узла ограничения скорости OC . Выходной сигнал регулятора поступает в тиристорный преобразователь якоря двигателя моталки $TПЯ$, изменяя его выходное напряжение и, как следствие, частоту вращения двигателя. Сигнал регулятора $PЭ$ воздействует на тиристорный преобразователь возбуждения $TПВ$.

При намотке рулона линейная скорость полосы увеличивается, вследствие чего ее натяжение и нагрузка на двигатель моталки растут. Поскольку механическая характеристика двигателя не абсолютно жесткая, с ростом нагрузки частота вращения двигателя падает, что приводит к рассогласованию сигналов, поступающих от датчика $ДЭ$ э. д. с. двигателя и от тахогенератора $TГ$ клетки. Сигнал рассогласования подается на вход регулятора $PЭ$ и в результате ток возбуждения повышается. Увеличение магнитного потока двигателя приводит к снижению его угловой скорости, так как э. д. с. $E = k\omega\Phi$ остается неизменной. Следовательно, ток якоря I и электромагнитная мощность $P_3 = I E$ также остаются неизменными, что обеспечивает постоянство натяжения полосы.

Регулятор $PЭ$ работает до тех пор, пока магнитный поток двигателя не достигнет номинального значения, соответствующего заданному радиусу рулона R_0 . Дальнейшее увеличение радиуса рулона уже не приводит к росту магнитного потока двигателя, ввиду возникающего при этом режима «насыщения» регулятора $PЭ$. Намотка рулона радиусом более R_0 увеличивает натяжение, а следовательно, и ток при неизменной скорости. При этом в работу вступает регулятор тока PT . Ток двигателя повышается, э. д. с. снижается, а электромагнитная мощность и натяжение остаются постоянными.

Узел ограничения скорости OC действует при обрыве полосы как отрицательная о. с. по скорости с отсечкой. Воздействуя на преобразователь $TПЯ$, узел OC ограничивает напряжение преобразователя и, как следствие, частоту вращения двигателя.

9.6. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ

К вспомогательным механизмам прокатных станов относятся все устройства, на которых выполняются вспомогательные операции по транспортировке металла, установке рабочих валков, кантовке металла, резке, правке и другие, т. е. все операции, кроме основных, относящихся непосредственно к деформации металла в рабочих валках.

Наиболее характерными и распространенными вспомогательными механизмами являются ножницы, роликовые конвейеры и нажимные устройства станов.

Большая часть вспомогательных механизмов снабжена электроприводом и эксплуатируется в тяжелых условиях прокатных цехов, работая в режимах повторно-кратковременной нагрузки. Вспомогательные механизмы участвуют в едином технологическом процессе, и выход из строя хотя бы одного из них приводит к останову стана.

Для защиты электродвигателей от перегрузок, возникающих при их эксплуатации и интенсификации переходных процессов, приводы таких вспомогательных механизмов, как ножницы, нажимные устройства, рабочие роликовые конвейеры и других, должны иметь экскаваторную механическую характеристику $\omega = f(M)$. В настоящее время электроприводы большинства вспомогательных механизмов выполняют по системе Г—Д. Внедряется также система ТП—Д электропривода, которая наиболее полно обеспечивает быстрое действие в переходных процессах и ограничение момента двигателя при больших перегрузках и работе в динамических режимах.

Ножницы предназначены для порезки проката в потоке в горячем или холодном состоянии. В порезку входит отрезка переднего и заднего дефектных концов проката, обрезка боковых кромок, порезка полосы на заданные длины, аварийная порезка на стане и т. д. В горячем состоянии при температуре 800...1100°C обрезают блюмы, слябы, заготовки и сортовой прокат. Средне- и мелкосортный прокат, листы, фасонные профили и другие виды проката режут в холодном состоянии. Используют различные типы ножниц: с параллельными ножами, наклонными ножами и дисковые.

На непрерывных прокатных станах всех видов (тонколистовых, заготовочных, сортовых, трубопрокатных и др.) устанавливают летучие ножницы, которые обеспечивают разрез выходящего из стана металла при полной его скорости, достигающей до 25 м/с.

Роликовые конвейеры (рис. 9.23) служат для транспортировки металла в прокатных цехах. Количество приводных двигателей роликовых конвейеров на современном прокатном стане достигает 1000...1500 шт., так как широко применяется индивидуальный электропривод роликов.

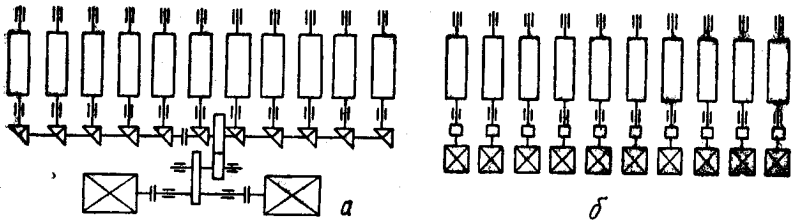


Рис. 9.23. Кинематическая схема группового (а) и индивидуального (б) электроприводов роликовых конвейеров

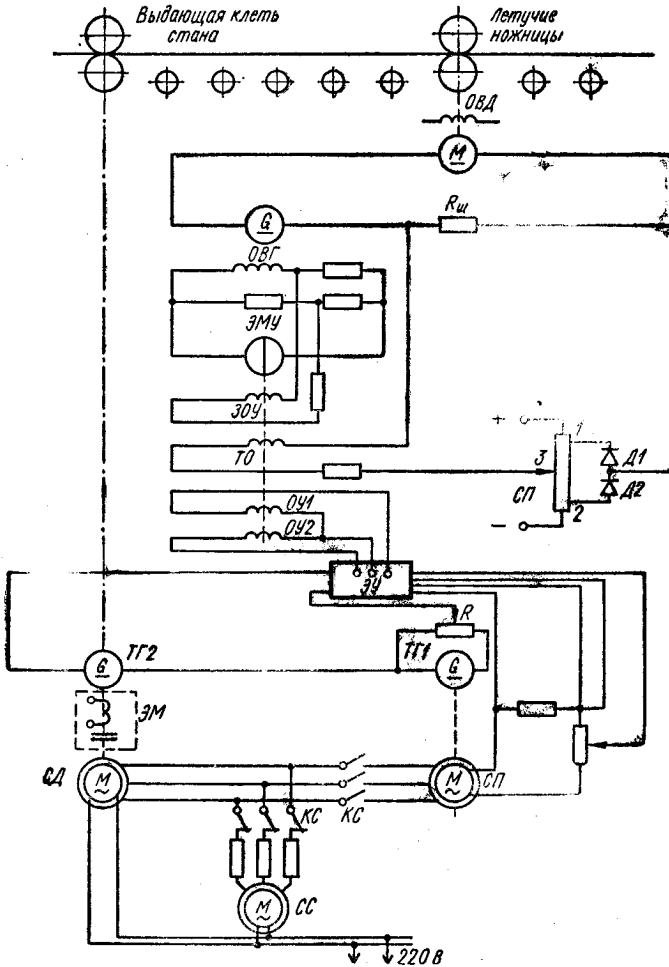


Рис. 9.24. Принципиальная схема электропривода летучих ножниц

По назначению роликовые конвейеры подразделяются на *транспортные, рабочие и удлинительные*. Рабочие роликовые конвейеры предназначены для подачи металла к рабочим валкам прокатного стана. Удлинительные роликовые конвейеры используются как транспортные до и после окончания прокатки и как рабочие при длинной заготовке в процессе прокатки. Рабочие и удлинительные роликовые конвейеры работают в повторно-кратковременном режиме и требуют плавного регулирования их скорости.

В качестве приводных двигателей роликовых конвейеров применяют асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором, а также двигатели постоянного тока специальных серий.

Нажимные устройства (установочные механизмы) предназначены для регулирования взаимного положения валков в целях обеспечения получения профиля заданных размеров. На некоторых станах (например, блюмингах, слябингах, черновых клетях полунепрерывных станов и т. д.) расстояние между валками меняется после каждого пропуска металла. Большинство электроприводов нажимных устройств современных станов работает в повторно-кратковременном режиме. Однако в некоторых станах, таких как заготовочные, непрерывные сортовые, проволочные и другие, электроприводы нажимных устройств эксплуатируются в кратковременном режиме. В электроприводах, работающих в повторно-кратковременном режиме, устанавливают двигатели постоянного тока, а в электроприводах, работающих в кратковременном режиме, — двигатели переменного тока.

На рис. 9.24 изображена принципиальная схема электропривода летучих ножниц. Электродвигатель *М* ножниц питается от отдельного генератора. Схема обеспечивает управление двигателем ножниц без изменения его магнитного потока. В качестве возбудителя генератора используется электромашинный усилитель *ЭМУ*, питающий обмотку возбуждения генератора *ОВГ*. Управляющие обмотки этого усилителя *ОУ1* и *ОУ2* включены на выход электронного усилителя *ЭУ*, выходное напряжение которого определяется напряжением сельсина-приемника *СП*, работающего в трансформаторном режиме, и разностью напряжений тахогенераторов *ТГ1*, *ТГ2*.

Тахогенераторы включены встречно и являются измерительными органами тахометрической следящей системы по поддержанию необходимого соотношения частот вращения ножниц и валков выдающей клетки стана. Тахогенератор *ТГ1* соединен с валом двигателя ножниц через редуктор и выдает напряжение, пропорциональное частоте вращения ножей ножниц. Напряжение тахогенератора *ТГ2*, соединенного с валом двигателя клетки, пропорционально частоте вращения валков выдающей клетки стана. Потенциометр *Р* служит для установки необходимого соотношения частот вращения ножниц и валков клетки в зависимости от отрезаемой длины заготовки.

Первая мерная длина заготовки для каждой новой полосы устанавливается с помощью сельсинной схемы управления. Полярность напряжения на выходе электронного усилителя определяется фазой переменного напряжения сельсина-приемника *СП*. Управляющие обмотки *ОУ1* и *ОУ2* машинного усилителя включены так, что их м. д. с. действуют встречно и при отсутствии напряжения на входе электронного усилителя токи в этих обмотках равны, а напряжение на машинном усилителе отсутствует. При подаче на вход электронного усилителя напряжения от тахогенераторов или сельсина-приемника на машинном усилителе появляется напряжение соответствующей полярности, пропорциональное входному напряжению.

Разрезание полосы на заданные мерные длины на непрерывных горячепрокатных станах обеспечивается тахометрической схемой управления. При этом электромагнитная муфта *ЭМ* отключена и ротор сельсина-датчика *СД* включен на ротор стопорного сельсина *СС* размыкающими контактами *КС*, а сельсин-приемник *СП* отключен замыкающими контактами *КС*. Стопорный сельсин расположен на пульте управления и положение его ротора может быть изменено оператором для получения первой мерной длины.

Сельсинная схема включается в работу на время, необходимое для получения первой мерной длины, после чего регулятор отключается. Включение сельсинной схемы в работу происходит в момент прохождения полосы через последнюю (выходную) клетку стана. При этом ротор сельсина-датчика *СД* отключается от стопорного сельсина *СС* размыкающими контактами *КС* и включается на сельсин-приемник *СП*. Одновременно сельсин-датчик *СД* подключается электромагнитной муфтой *ЭМ* к приводу клетки (на схеме показано штрих-пунктиром). Из-за различного пространственного положения роторов сельсина-датчика и сельсина-приемника на выходе последнего появляется напряжение, которое подается на вход электронного усилителя. Двигатель ножниц форсированно начинает обрабатывать пространственное положение ножей в соответствии с положением ротора сельсина-датчика *СД*, что и определяет первый мерный рез листа.

Для ограничения тока двигателя и получения экскаваторной характеристики используется отрицательная о. с. по току с отсечкой. Токовая обмотка *ТО* машинного усилителя подключена на сопротивление шунта $R_{ш}$ и контролирует ток в главной цепи. Потенциометр *СП* и диоды *Д1*, *Д2* обеспечивают работу схемы при различных направлениях вращения двигателя («вперед» или «назад»). При возрастании тока в главной цепи выше тока уставки через токовую обмотку начинает протекать ток, размагничивающий машинный усилитель. При определенном токе размагничивание становится настолько сильным, что э. д. с. генератора оказывается достаточной только для преодоления падения напряжения в главной цепи, и двигатель останавливается.

Отрицательная о. с. по току с отсечкой обеспечивает защиту электродвигателя при недопустимых статических нагрузках и от чрезмерных бросков тока при форсированном пуске, а также помогает формировать нужную кривую тока в динамических режимах при пуске, реверсе и торможении двигателя.

9.7. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОКАТНЫХ ЦЕХОВ

Потребители электроэнергии прокатных цехов с точки зрения надежности электроснабжения относятся в основном к потребителям первой и второй категорий. Потребители первой категории составляют примерно 15%, а потребители второй категории — 80% всех потребителей электроэнергии.

Установленная мощность электродвигателей современных станов достигает 25 000 кВт (сортовые станы), 40 000 кВт (обжимные станы) и 100 000 кВт (широкополосные станы). Электроприемники, в том числе и преобразователи, прокатных цехов потребляют электроэнергию напряжением 10; 6; 0,66; 0,38 и 0,22 кВ переменного тока.

Перечисленные характеристики потребителей электроэнергии прокатного производства и определяют особенности систем электроснабжения прокатных цехов. Наиболее экономичной и надежной является система электроснабжения с применением глубоких вводов, когда источники высшего напряжения (35—110 кВ) максимально приближены к потребителям электроэнергии, а ее распределение происходит по нескольким распределительным пунктам.

На рис. 9.25 показана схема электроснабжения прокатного цеха. Промежуточные распределительные пункты $РП_1, \dots, РП_3$ на напряжение 10 кВ питаются по радиальным линиям от главной понижающей подстанции $ГПП$: Подстанция глубокого ввода с двумя трансформаторами $Тр1$ и $Тр2$ на напряжении 110 кВ выполнена по упрощенной схеме на стороне первичного напряжения. Подстанция получает питание по двум линиям $Л1$ и $Л2$ от энергосистемы или от узловой распределительной подстанции. Коммутационная аппаратура (квадратами обозначены высоковольтные выключатели) установлена на $РП$, а на питаемых от шин цеховых трансформаторных подстанциях $ТП$ предусматриваются преимущественно глухие (без выключателей и разъединителей) присоединения трансформаторов.

Распределительные пункты и крупные подстанции оборудуют двумя секциями шин и питают по двум радиальным линиям. При отключении одной из линий или трансформатора вся нагрузка автоматически переключается на другую секцию шин с помощью схемы автоматического включения резерва $АВР$. Все элементы схемы электроснабжения постоянно находятся под нагрузкой. «Холодный» резерв в линиях и трансформаторах не применяется. При таком режиме работы, когда все элементы включены, потери электроэнергии уменьшаются, а надежность повышается,

так как долго находящийся в резерве элемент может отказать при включении. Схема электроснабжения предусматривает «скрытый» резерв, который используется при послеаварийном режиме, когда вся нагрузка перераспределяется между оставшимися в работе частями сети с использованием перегрузочных свойств электрооборудования.

Все линии и трансформаторы в схеме электроснабжения работают раздельно на свои нагрузки, что уменьшает токи короткого замыкания, упрощает схемы первичной коммутации и защиты, повышает надежность эксплуатации оборудования. При однотрансформаторных подстанциях взаимное резервирование питания осуществляется посредством кабельных перемычек между соседними подстанциями.

На вторичном напряжении (ниже 1000 В) автоматическое включение резерва производится с помощью секционных авто-

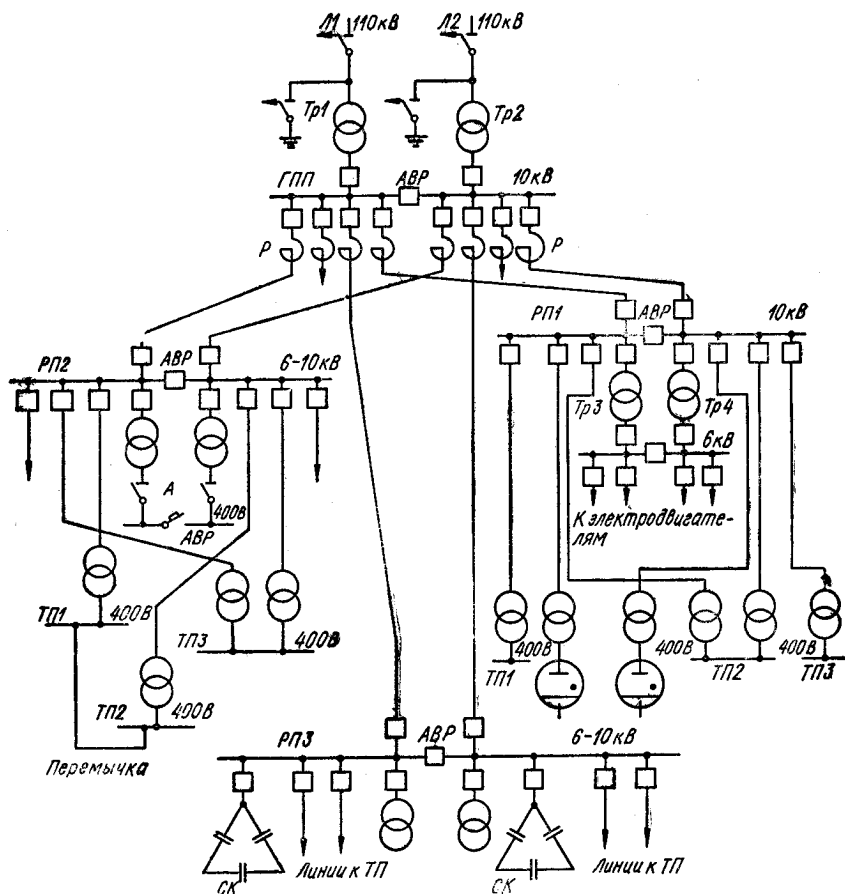


Рис. 9.25. Схема электроснабжения прокатного цеха

матов А. Для питания потребителей напряжением 6 кВ в схеме предусмотрены понижающие трансформаторы *Тр3* и *Тр4*.

Компенсация реактивной мощности потребителей для повышения коэффициента мощности обеспечивается применением батарей статических конденсаторов *СК*.

Мощные потребители электроэнергии с ударной нагрузкой, например электродвигатели главного привода слябингов, вызывающие колебания напряжения в питающей сети, питаются либо от индивидуальных шин *РП*, либо по отдельным линиям с реакторами *Р* от главной понижающей подстанции. Для уменьшения колебаний напряжения в осветительной сети при работе прокатных станов цеховые подстанции освещения присоединяют к отдельным секциям шин.

В целях повышения надежности и экономичности в современных схемах электроснабжения широко применяются комплекты трансформаторные и преобразовательные подстанции, комплектные распределительные и компенсирующие устройства.

Обеспечение высокой производительности современных блюмингов, достигающей 6 млн. т в год, требует расхода энергии на тонну проката порядка 15...25 кВт·ч, в том числе на долю главного привода 8...12 кВт·ч. Электрический к. п. д. главного привода в системе Г—Д, представляющий собой отношение энергии деформации к энергии, полученной от сети, обычно не превышает 0,65. Такой низкий энергетический коэффициент объясняется многократным преобразованием энергии и низким к. п. д. приводных двигателей, который при их перегрузке падает до 0,8...0,85.

Как указывалось выше, на использовании кривых удельного расхода электроэнергии на прокатку металла базируется наиболее распространенный метод определения мощности приводного электродвигателя прокатного стана. В связи с этим большое внимание уделяют исследованиям удельных расходов электроэнергии на современных прокатных станах. Расчет мощности двигателя по кривым удельного расхода электроэнергии может дать хорошие результаты, если заданные условия прокатки сходны с условиями, которым соответствует используемая кривая. Имеются альбомы такого рода кривых, снятых экспериментально для различных случаев прокатки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизированный электропривод / Под общ. ред. И. И. Петрова, М. Г. Соколова. — М.: Энергия, 1980.—408 с.
2. Афанасьев В. Д. Автоматизированный электропривод в прокатном производстве. — М.: Металлургия, 1977.—280 с.
3. Бариев Н. В. Электрооборудование одноковшовых экскаваторов.— М.: Энергия, 1980.—396 с.
4. Борисов Ю. М., Соколов М. М. Электрооборудование подъемно-транспортных машин. — М.: Машиностроение, 1971.—376 с.
5. Бычков В. П. Электропривод и автоматизация металлургического производства. — М.: Металлургия, 1977.—392 с.
6. Вершинин И. П., Хошпер Л. Я. Применение синхронных электроприводов в металлургии. — М.: Металлургия, 1974.—122 с.
7. Вологатовский С. А., Фурсов В. Д., Королев А. М. А. с. 299000 (СССР). Устройство защиты полупроводникового управляемого выпрямителя. — Опубл. в Б. И., 1971, № 11.
8. Вуль Ю. Я., Ключев В. И., Седяков Л. В. Наладка электроприводов экскаваторов.— М.: Недра, 1975.—312 с.
9. Герасимьяк Р. П. Тиристорный электропривод для кранов.— М.: Энергия, 1978.—112 с.
10. Глух Е. М., Зеленов В. Е. Защита полупроводниковых преобразователей.— М.: Энергия, 1970.—152 с.
11. Егоров К. А. Системы управления пассажирскими лифтами.— М.: Стройиздат, 1977.—240 с.
12. Ермишкин В. Г. Техническое обслуживание лифтов.— М.: Недра, 1977.—226 с.
13. Зилин Е. Н., Чувашов И. И. Электрооборудование промышленных предприятий. Ч. 1. Автоматизированный электропривод и электрооборудование промышленных механизмов.— М.: Стройиздат, 1977.—432 с.
14. Калинушкин М. П. Вентиляторные установки.— М.: Высшая школа, 1979.—224 с.
15. Капунцов Ю. Д., Елисеев В. А., Ильяшенко Л. А. Электрооборудование и электропривод промышленных установок / Под ред. М. М. Соколова.— М.: Высшая школа, 1979.—360 с.
16. Ключев В. И., Терехов В. М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов.— М.: Энергия, 1980.—360 с.
17. Князевский Б. А., Липкин Б. Ю. Электроснабжение и электрооборудование промышленных предприятий и цехов.— М.: Энергия, 1971.—374 с.
18. Крановое электрооборудование / Под ред. А. А. Рабиновича. — М.: Энергия, 1979.—240 с.
19. Куликов А. А. Основы электропривода.— Киев: Вища школа, 1977.—184 с.
20. Липкин Б. Ю. Электрооборудование промышленных предприятий и установок. — М.: Высшая школа, 1972.—366 с.
21. Меклер А. Г. Электрооборудование машин непрерывного транспорта.— М.: Машиностроение, 1973.—296 с.
22. Мукошеев Ю. Д. Электроснабжение промышленных предприятий.— М.: Энергия, 1973.—584 с.
23. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок.— М.: Энергия, 1980.—158 с.

24. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов.— М.: Металлургия, 1979.—176 с.
25. Правила устройства и безопасной эксплуатации лифтов.— М.: Недра, 1971.— 96 с.
26. Примеры расчетов автоматизированного электропривода / Под ред. А. В. Башарина.—2-е изд.— Л.: Энергия, 1972.—440 с.
27. Сандлер А. С. Электропривод и автоматизация металлорежущих станков.— М.: Энергия, 1972.—440 с.
28. Сатовский Б. И., Ярцев Г. Н. и др. Современные карьерные экскаваторы.— М.: Недра, 1971.—480 с.
29. Смородин С. С., Верстаков Г. В. Шахтные стационарные машины и установки.— М.: Недра, 1975.—280 с.
30. Соколов М. М. Автоматизированный электропривод общепромышленных механизмов.— М.: Энергия, 1976.—488 с.
31. Справочник по преобразовательной технике / Под ред. И. М. Чиженко.— Киев: Техніка, 1978.—448 с.
32. Справочник по проектированию электропривода, силовых и осветительных установок / Под ред. Я. М. Большама и др.— М.: Энергия, 1974.—728 с.
33. Тиристорный электропривод рудничного подъема / Динкель А. Д., Католиков В. Е. и др.— М.: Недра, 1977.—312 с.
34. Толпежищников Л. И. Автоматизация подземных горных работ.— М.: Недра, 1976.—374 с.
35. Ушаков Н. С. Электрические мостовые краны.— Л.: Машиностроение, 1980.— 296 с.
36. Федоров А. А., Каменева В. В. Основы электроснабжения промышленных предприятий.—3-е изд.— М.: Энергия, 1979.—408 с.
37. Фотиев М. М. Электрооборудование предприятий черной металлургии.— М.: Металлургия, 1980.—312 с.
38. Харизоменов И. В., Харизоменов Г. И. Электрооборудование станков и автоматических машин.— М.: Машиностроение, 1977.—232 с.
39. Харизоменов И. В. Электрооборудование и электроавтоматика металлорежущих станков.— М.: Машиностроение, 1975.—264 с.
40. Харизоменов И. В. Электрооборудование кузнечно-штамповочных машин.— М.: Высшая школа, 1970.—186 с.
41. Чиликин М. Г., Ключев В. И., Сандлер А. С. Теория автоматизированного электропривода.— М.: Энергия, 1979.—616 с.
42. Шубенко В. А., Браславский И. Я. Тиристорный асинхронный электропривод с фазовым управлением.— М.: Энергия, 1972.—200 с.
43. Электрификация горнообогатительных комбинатов. Справочное пособие/ Апенко В. П. и др.— М.: Недра, 1973.— 164 с.
44. Электрификация горных работ/Под ред. С. А. Волотковского.— Киев: Вища школа, 1980.— 448 с.
45. Электрификация открытых горных работ/Под ред. С. А. Волотковского.— М.: Недра, 1972.— 472 с.
46. Электрооборудование кузнечно-прессовых машин. Справочник/Стоколов В. Е., Усаткин Г. С. и др.— М.: Машиностроение, 1981.—304 с.
47. Электропривод и автоматизация управления строительными башенными кранами/Петров И. И., Богословский А. П. и др.— М.: Машиностроение, 1979.— 216 с.
48. Электроснабжение и электрооборудование трубных цехов/Под ред. В. П. Апенко.— М.: Металлургия, 1980.— 176 с.
49. Электротехнический справочник.— 5-е изд. / Под ред. П. Г. Грудинского и др.— Т. 1, 2, 3.— М.: Энергия, 1975.— 776, 752 и 568 с.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Агрегаты тиристорные преобразовательные комплектные 22, 24, 25
— — — реверсивные серии АТРК 25
— — — серии АТ и АТР 24
Аппаратура-защиты электропривода 68
— управления лифтов 183
— электроприводом 32
Аппараты коммутационного ручного управления 32
Вентиляторы 219
Выключатели автоматические 72
— — — серии «Электрон» 75
— — — серий АЗ700 и АВМ 73
— — — путевые 37
Датчики путевые 39
Диаграмма нагрузочная крановой лебедки 114
— — — прокатного стана 107
— — — шахтной подъемной машины 196
— — — электродвигателя 97, 100, 103
Диаграммы нагрузочные электроприводов экскаватора 152
— угловой скорости и момента прокатного стана 279
Дизъюнктор 55
Инвертор 55
Каскад асинхронно-вентильный 229
Ключи управления, командоаппараты и командоконтроллеры 35
Компрессоры 219
Конвейеры 211
— роликовые 299
Контакты переменного тока серии КТ и КТП 45
— постоянного — — КРВ-600 45
— электромагнитные 42
Контроллер 34
Конъюнктор 55
Коэффициент заполнения 154
— пульсаций 21
— форсирования 283
Краны подъемные 111
Лифты 176
Метод средних потерь 97
— эквивалентного тока 97
Механизмы транспортные непрерывного действия 211
Момент двигателя стопорный 153
— — — эквивалентный 98
Мощность двигателя часовая 90
— — — эквивалентная 99, 114
Муфты сцепления индукторные 66
— управления электромагнитные 65
Насосы 219
Насос электромагнитный 84
Ножницы 299
— летучие 301
Особенности выбора двигателя с маховиком 107
— электроснабжения механизмов непрерывного транспорта 217
— — — насосных, вентиляторных и компрессорных установок 244
— — — одноковшовых экскаваторов 167
Переключатели 32
— — — кнопочные и универсальные 35
Переключатель этажный типа ПЭ-1 181
Повторитель 54
Подъемники 176
Предохранители быстродействующие серий ПНБ, ПНБ5М и ПП41 69
— разборные серии ПР-2 68
Преобразователи 18
— — — выбор 28
— — — ионные 19
— — — комплекты серии П401 26
— — — основные параметры 28
— — — полупроводниковые 19
— — — устройства защиты 75
— — — серии ПАВК 26
— — — тиристорные 19
— — — силовые схемы 20
— — — частоты 25
— — — электромагнитные 18
Пускатели магнитные серий ПМЕ и ПАЕ 48
Пускатель кнопочный 33
Расцепители 72
Резисторы 39
— — — основные параметры 40
— — — серий ПЭ, ПЭВ и ПЭВР 42
Реле времени полупроводниковые 53
— — — электродвигательные серий ВС-10 и Е-52 52
— — — защиты от перегрузок типа РЭО-401 70
— — — максимальные токовые 70
— — — промежуточные переменного тока серии ЭП-41В 51
— — — малогабаритные серии МКУ-48 52
— — — с герконами 52
— — — тепловые 71
— — — управления 49
— — — электромагнитные постоянного тока серии РЭВ 50
Рубильник 32
Связь обратная 156
Серия элементов «Логика-Т» 56
Системы автоматики для лифтов 180
— — — подчиненного регулирования на базе УБСР 207
— — — электропривода насосов, вентиляторов и компрессоров 224
— — — шахтных подъемных машин 196
Станки 245, 250, 253, 258, 262

Станции управления тиристорные 26
Станн прокатные 273
— — классификация 274, 291
Схемы управления двигателем преобразовательного агрегата 166
— — лифтами быстроходными 187
— — тихоходными 183
— — реверсивными станами горячей прокатки 284
— — электроприводами конвейеров 215
— электропривода установок вентиляторных 234
— — — компрессорных 289
— — — насосных 229
Ток двигателя эквивалентный 98
Толкатели электрогидравлические 123
Тормоза 121
Управление конвейерной установкой 215
— крановыми двигателями посредством контроллеров магнитных 133
— — — силовых кулачковых 126
— — — общие принципы 119
Усилители магнитные 58
— — однополупериодный и однофазный двухполупериодный 59
— — трехфазные и реверсивные 61
Установки шахтные подъемные 194
— — — с электроприводом асинхронными 198
— — — — по системе Г — Д 202
Устройства комплектные тиристорные серии КТУ 25
— нажимные 301
Характеристика вентиляторная 220
— внешняя 156
— защитная теплового реле 71
— Q — H 223
— механическая электродвигателя 87
— экскаваторная 153
Экскаваторы многоковшовые 169
— — — — — одноковшовые 148
— — — — — виды 149
Электродвигатели и генераторы переменного тока 6
— — — — — постоянного — 10
— — — — — крановые 14
— взрывозащищенные 93
— выбор по мощности 95, 104
— — — — — техническим условиям 90
— защищенные 93
— невентилируемые и обдуваемые 94
— открытые и закрытые 93
— прокатные 15
— режимы работы 88
— серии и типы 95
— серий В, ВР и ВАО 18
— специальных конструкций 11, 17
— экскаваторные 17

Электромагниты переменного тока 63
— — — — — постоянного — 65
— — — — — грузоподъемные 125
— — — — — тормозные 122
Электрооборудование кузнечных молотов и пресовых машин 264
— прокатных станов 273
— — — — — их вспомогательных механизмов 299
— станков металлообрабатывающих 245
— — — — — сверлильных и расточных 250
— — — — — строгальных 258
— — — — — токарных 248
— — — — — универсальных сверлильно-фрезерно-расточных 256
— — — — — фрезерных 253
— — — — — шлифовальных 262
— — шагающих драглайнов 163
— — экскаватора типа ЭКГ-4,6 161
Электропривод 5,77
— автоматизированный 5
— виды 5,77
— групповой 77
— индивидуальный 78
— комплектный металлорежущих станков 267
— кранов 111
— выбор 113
— — с тиристорными преобразователями 139
— лифтов 179
— — — — — режимы работы 85
— металлорежущих станков 247
— механизмов непрерывного транспорта 211
— многодвигательный 78
— непрерывных станов горячей прокатки 287
— обжимных реверсивных станов 279
— подъемников 176
— системы 116, 119
— станов холодной прокатки 291
— структурная схема 77
— типы применяемых двигателей 78
— установок конвейерных 212
— — — — — насосных, вентиляторных и компрессорных 219
— — — — — шахтных подъемных 196, 205
— — — — — экскаваторов 148
— — — — — многоковшовых 169
— — — — — системы 155
— — — — — требования 153, 154
Электроснабжение металлообрабатывающих станков и установок 269
— — — — — подъемников 208
— — — — — прокатных цехов 303
— — — — — установок крановых 144
— — — — — шахтных подъемных 210
Элементы бесконтактные логические 54
— ЗАПРЕТ, Шефнера и Пирса 56

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава 1. Основные элементы современных систем электропривода	
1.1. Общие сведения об электроприводе и его элементах	5
1.2. Электрические машины	6
1.3. Преобразовательные устройства	18
1.4. Выбор преобразователей и их энергетические показатели	28
1.5. Общие сведения об аппаратуре управления электроприводом	32
1.6. Коммутационные аппараты ручного управления	32
1.7. Командоаппараты	35
1.8. Резисторы	39
1.9. Электромагнитные контакторы и пускатели	42
1.10. Реле управления	49
1.11. Бесконтактные логические элементы	54
1.12. Магнитные усилители	58
1.13. Электромагниты и электромагнитные муфты	63
1.14. Аппаратура защиты электропривода	68
Глава 2. Особенности инженерных расчетов электропривода типовых промышленных установок	
2.1. Общие сведения	77
2.2. Механические характеристики и режимы работы электроустановок	85
2.3. Выбор электродвигателя по техническим условиям	90
2.4. Выбор электродвигателя по мощности	95
2.5. Особенности выбора двигателя по мощности для регулируемого электропривода	104
2.6. Особенности выбора двигателя, работающего с маховиком	107
Глава 3. Электропривод кранов	
3.1. Общие сведения о крановых механизмах	111
3.2. Выбор электроприводов для крановых механизмов	113
3.3. Общие принципы управления и аппаратура крановых двигателей	119
3.4. Управление крановыми двигателями с помощью силовых кулачковых контроллеров	126
3.5. Управление крановыми двигателями с помощью магнитных контроллеров	133
3.6. Крановые электроприводы с тиристорными преобразователями	139
3.7. Электроснабжение крановых установок	144
Глава 4. Электропривод экскаваторов	
4.1. Общие сведения об одноковшовых экскаваторах	148
4.2. Нагрузочные диаграммы экскаватора и требования, предъявляемые к его электроприводам	151
4.3. Системы электропривода	155
4.4. Электрооборудование экскаватора типа ЭКГ-4,6	161
4.5. Электрооборудование шагающих драглайнов	163
4.6. Схемы управления двигателем преобразовательного агрегата	166

4.7. Особенности электроснабжения одноковшовых экскаваторов	167
4.8. Электропривод многоковшовых экскаваторов	169

Глава 5. Электропривод подъемников

5.1. Общие сведения о пассажирских и грузовых лифтах	176
5.2. Электропривод и аппаратура управления лифтов	179
5.3. Типовые схемы управления тихоходными лифтами	183
5.4. Типовые схемы управления быстроходными лифтами	187
5.5. Общие сведения о шахтных подъемных установках	194
5.6. Системы электропривода шахтных подъемных машин	196
5.7. Подъемная установка с асинхронным электроприводом	198
5.8. Подъемная установка с электроприводом по системе Г—Д	202
5.9. Применение тиристорov в электроприводе шахтных подъемных установок	205
5.10. Системы подчиненного регулирования на базе УБСР	207
5.11. Электроснабжение подъемников	208

Глава 6. Электропривод механизмов непрерывного транспорта

6.1. Общие сведения о механическом оборудовании конвейеров	211
6.2. Электропривод конвейерных установок	212
6.3. Электрические схемы управления электроприводами конвейеров	215
6.4. Особенности электроснабжения механизмов непрерывного транспорта	217

Глава 7. Электропривод насосных, вентиляторных и компрессорных установок

7.1. Общие сведения	219
7.2. Определение мощности электропривода	222
7.3. Системы электропривода	224
7.4. Схемы электропривода насосных установок	229
7.5. Схемы электропривода вентиляторных установок	234
7.6. Схемы электропривода компрессорных установок	239
7.7. Особенности электроснабжения насосных, вентиляторных и компрессорных установок	244

Глава 8. Электрооборудование металлообрабатывающих станков и установок

8.1. Краткая характеристика видов обработки металлов на металлорежущих станках	245
8.2. Электропривод металлорежущих станков	247
8.3. Электрооборудование токарных станков	248
8.4. Электрооборудование сверлильных и расточных станков	250
8.5. Электрооборудование фрезерных станков	253
8.6. Электрооборудование универсальных сверлильно-фрезерно-расточных станков	256
8.7. Электрооборудование строгальных станков	258
8.8. Электрооборудование шлифовальных станков	262
8.9. Электрооборудование кузнечных молотов и прессовых машин	264
8.10. Комплектные электроприводы металлорежущих станков	267
8.11. Электроснабжение металлообрабатывающих станков и установок	269

Глава 9. Электрооборудование прокатных станов

9.1. Общие сведения	273
9.2. Электропривод обжимных реверсивных станов	279
9.3. Электрические схемы управления реверсивными станами горячей прокатки	284
9.4. Электропривод непрерывных станов горячей прокатки	287
9.5. Электропривод станов холодной прокатки	291
9.6. Электрооборудование вспомогательных механизмов	299
9.7. Электроснабжение прокатных цехов	303

Список литературы	303
Предметный указатель	308

*Сергей Андроникович Волотковский,
Владимир Иванович Емец,
Владимир Кузьмич Козло,
Виктор Дмитриевич Фурсов,
Михаил Матвеевич Белый*

ТИПОВОЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ПРОМЫШЛЕННЫХ УСТАНОВОК

Под общей редакцией заслуженного
деятеля науки и техники УССР,
профессора, доктора технических наук
С. А. Волотковского

Научный редактор *В. Ф. Хмель*
Переплет художника *Г. М. Балюна*
Художественный редактор *С. П. Духленко*
Технический редактор *И. И. Каткова*
Корректор *И. П. Берус*

Информ. бланк № 6703

Сдано в набор 23.11.81. Подп. в печать
17.02.83. БФ 02127. Формат 60×90/16.
Бумага типогр. № 2. Лит. гарн. Выс. печ.
19,5 печ. л. 19,5 краск.-отт. 21,53
уч.-изд. л. Тираж 7000 экз. Изд. № 5258.
Зак. № 2-2. Цена 95 к.

Головное издательство издательского объ-
единения «Вища школа», 252054, Киев-54,
Гоголевская, 7.
Харьковская книжная фабрика «Комму-
нист». 310012, Харьков-12, Энгельса, 11.