

**Сандлер Александр Семёнович,
Чиликин Михаил Георгиевич**

**Общий курс электропривода.
Учебник для вузов**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 621.39
ББК 32
С18

С18 **Сандлер Александр Семёнович**
Общий курс электропривода. Учебник для вузов / Сандлер Александр Семёнович, Чиликин Михаил Георгиевич – М.: Книга по Требованию, 2026. – 576 с.

ISBN 978-5-8854-2816-3

Учебник подготовлен в соответствии с программой курса «Электропривод» для электромеханических специальностей энергетических и электротехнических вузов. В книге изложены базовые принципы электропривода и рассмотрены вопросы управления автоматизированными электроприводами. Предыдущее, пятое издание вышло в 1971 году; настоящее издание переработано и обновлено с учётом новых достижений науки и техники, а также требований обновлённой учебной программы. Издание предназначено для студентов, специализирующихся в области электрических машин, электрических аппаратов, электротермических установок и смежных направлений шестой группы специальностей.

ISBN 978-5-8854-2816-3

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2026

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2026

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

ВВЕДЕНИЕ

Автоматизация и электрификация всех отраслей народного хозяйства приводит к облегчению труда рабочих, к уничтожению существенного различия между трудом умственным и трудом физическим, к дальнейшему повышению материального благосостояния советских людей.

Производственные механизмы, без которых нельзя в настоящее время представить себе ни одной фабрики, ни одного завода, равно как механизированного транспорта и передового сельского хозяйства, прошли длительный путь своего развития, прежде чем приняли вид современных машин, где гений и труд человека нашли свое материальное воплощение.

Современное машинное устройство или, как его называют иначе, производственный агрегат состоит из большого числа разнообразных деталей, отдельных машин и аппаратов, выполняющих различные функции. Все они в совокупности совершают работу, направленную на обеспечение определенного производственного процесса. Необходимо хорошо знать назначение отдельных элементов, составляющих машинное устройство, так как без этого невозможно проектировать и создавать машину, а также невозможно правильно обслуживать ее в эксплуатации.

«Всякое развитое машинное устройство состоит из трех существенно различных частей: машины-двигателя, передаточного механизма, наконец, машинно-орудия или рабочей машины»¹.

Назначение первых двух элементов: двигателя с его системой управления и передаточного механизма, куда могут входить валы, шкивы, ремни, шестерни и т. п., заключается в том, чтобы сообщить движение исполнительному механизму.

¹ К. Маркс. Капитал, т. I. — М.: Политиздат, 1973, с. 384.

Следовательно, первая и вторая части машинного устройства служат для приведения в движение рабочей машины. Поэтому их объединяют общим названием «привод».

Примером простейшего привода является ручной привод, который сохранился в некоторых случаях и до настоящего времени. Его можно встретить, например, в быту, в сельском хозяйстве и т. д. Однако в современных условиях он не играет сколько-нибудь заметной роли.

Конный привод, являющийся развитием ручного привода, где усилия человека заменены тяговой силой животных, в настоящее время также утратил свое значение.

На смену им пришел механический привод от ветряного двигателя, от водяного колеса и турбины, паровой машины, двигателя внутреннего сгорания и от электрического двигателя, который постепенно занял главенствующее место. Первые механические приводы известны были в глубокой древности со времени устройства водяных и ветряных мельниц.

В настоящее время водяные и паровые турбины широко применяются на электрических станциях, вырабатывающих энергию для промышленности, сельского хозяйства, транспорта и бытовых нужд. Однако для приведения в движение рабочих машин основным двигателем является электрический двигатель и, следовательно, основным типом привода является электрический привод или сокращенно, **электр о п р и в о д**, а на современном уровне техники **а в т о м а т и з и р о в а н н ы й э л е к т р о п р и в о д**.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ.

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

1.1. Типы электроприводов и движения, осуществляемые ими

А в т о м а т и з и р о в а н н ы м э л е к т р о п р и в о д о м называется электромеханическая система, состоящая из электродвигательного, преобразовательного, передаточного и управляющего устройств, предназначенных для приведения в движение исполнительных органов рабочей машины и управления этим движением.

Нельзя представить себе ни одного современного производственного механизма, в любой области техники, который не приводился бы в действие автоматизированным электроприводом. В электроприводе основным элементом, непосредственно преобразующим электрическую энергию в механическую, является электрический двигатель, который чаще всего управляется при помощи соответствующих преобразовательных и управляющих устройств с целью формирования статических и динамических характеристик электропривода, отвечающих требованиям производственного механизма. Речь идет не только о сообщении машине

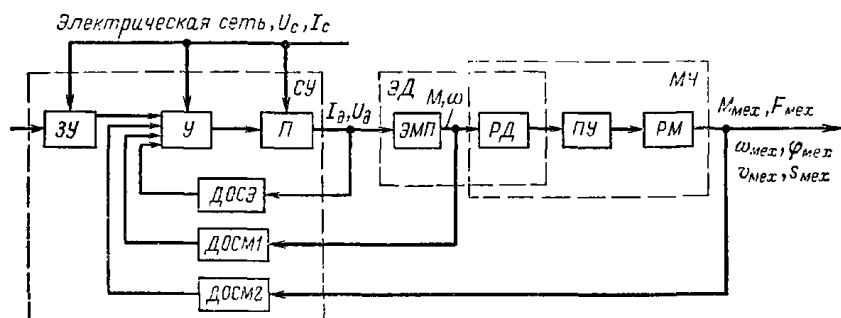


Рис. 1.1. Структурная схема автоматизированного электропривода.

вращательного или поступательного движения, но, главным образом, об обеспечении с помощью автоматизированного электропривода оптимального режима работы машин, при котором достигается наибольшая производительность при высокой точности.

Структурная схема автоматизированного электропривода приведена на рис. 1.1. В ней можно выделить три основных элемента:

1) механическая часть привода $МЧ$, включающая рабочий механизм $РМ$, передаточное устройство $ПУ$, предназначенное для передачи механической энергии от электродвигательного устройства электропривода к исполнительному органу рабочей машины и для изменения вида и скорости движения и усилия (момента вращения);

2) электродвигательное устройство $ЭД$, предназначенное для преобразования электрической энергии в механическую или механической энергии в электрическую. На схеме электродвигательное устройство (или двигатель) представлено двумя элементами: электромеханическим преобра-

зователем энергии ЭМП (на вход которого подаются электрические сигналы в виде напряжения и тока), преобразующим электрическую мощность в механическую мощность, и массой ротора двигателя РД, на которую воздействует момент М двигателя при угловой скорости ω ;

3) система управления СУ, состоящая из силовой преобразовательной части П (преобразователя), управляющего устройства У, задающего устройства ЗУ и датчиков обратных связей — электрических ДОСЭ и механических ДОСМ1 и ДОСМ2. Преобразователь П предназначен для питания двигателя и создания управляющего воздействия на него. Он преобразует род тока или напряжение, или частоту либо изменяет иные показатели качества электрической энергии, подводимой к двигателю. Устройство У, управляющее преобразователем П, получает командные сигналы от задающего устройства ЗУ, а информацию о текущем состоянии электропривода и технологического процесса — от датчиков обратных связей. С помощью этих датчиков ток, напряжение, мощность двигателя или другие его электрические параметры, скорость, момент или усилие и положение (перемещение) исполнительного органа, преобразуются в пропорциональные этим параметрам электрические сигналы, которые и подаются в управляющее устройство У. В нем текущее состояние электропривода и технологического процесса сравнивается с заданным и при наличии рассогласования вырабатывается управляющий сигнал, воздействующий через преобразователь П на электропривод в направлении устранения возникшего рассогласования с требуемой точностью и быстротой действия.

Разнообразные электроприводы с учетом их исторического развития и с точки зрения способов распределения механической энергии можно разделить на три основных типа: групповой электропривод; индивидуальный и взаимосвязанный.

Г р у п п о в о й электропривод обеспечивает движение исполнительных органов нескольких рабочих машин или нескольких исполнительных органов одной рабочей машины. Передача механической энергии от одного двигателя к нескольким рабочим машинам и ее распределение между ними производится с помощью одной или нескольких трансмиссий. Такой групповой привод называют также трансмиссионным (рис. 1.2).

Дальнейшее развитие электропривода было связано с отказом от распределения механической энергии между

рабочими машинами, т. е. от трансмиссий, за счет установки на каждую рабочую машину своего электродвигателя ЭД (рис. 1.3). Однако при таком электроприводе сохраняются системы распределения механической энергии внутри машины, имевшие место и в трансмиссионном приводе. Между отдельными рабочими органами одной и той же машины остаются часто громоздкие механические связи, усложняющие конструкцию самой машины. Этот электропривод по сравнению с рассмотренным выше трансмиссионным является более совершенным, но по существу также может считаться групповым, если на рабочей машине имеется несколько рабочих органов, приводимых в движение от одного двигателя.

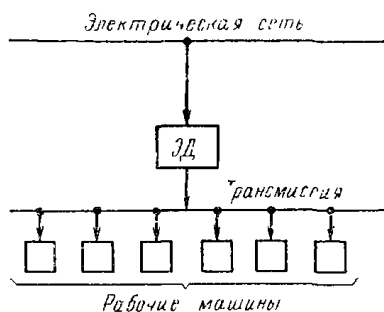


Рис. 1.2. Структурная схема группового трансмиссионного электропривода.

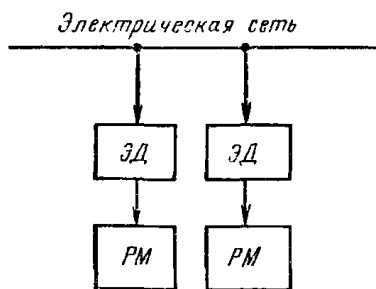


Рис. 1.3. Структурная схема группового электропривода.

Вследствие своего технического несовершенства трансмиссионный электропривод в настоящее время почти не применяется, он уступил место индивидуальному и взаимосвязанному, хотя в ряде случаев еще находит применение и групповой привод по схеме на рис. 1.3.

И н д и в и д у а л ь н ы й привод по сравнению с трансмиссионным и групповым обладает рядом преимуществ: производственные помещения не загромождаются тяжелыми трансмиссиями и передаточными устройствами; улучшаются условия работы и повышается производительность труда вследствие облегчения управления отдельными механизмами, уменьшения запыленности помещений, лучшего освещения рабочих мест; снижается травматизм обслуживающего персонала. Кроме того, индивидуальный электропривод отличается более высокими энергетическими показателями.

В трансмиссионном приводе при выходе из строя или при ремонте электродвигателя выбывает из работы группа машин, тогда как в случае индивидуального привода или группового по схеме на рис. 1.3 остановка одного электродвигателя вызывает остановку лишь одной рабочей машины.

При индивидуальном электроприводе за счет того, что каждый рабочий орган машины приводится в движение самостоятельным электродвигателем, рабочие органы машины оказываются уже не связанными друг с другом и поэтому значительно упрощаются механические передачи. В некоторых случаях в результате полного исключения механических передач удается существенно повысить точность работы машины. Индивидуальный электропривод

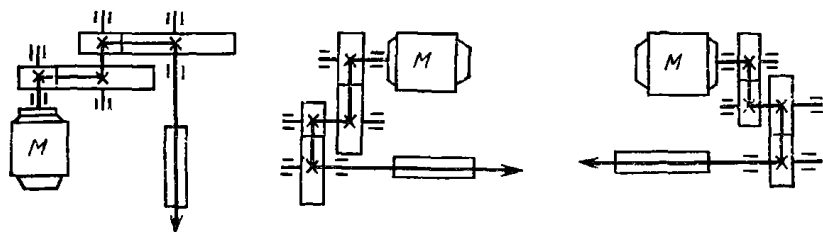


Рис. 1.4. Индивидуальные электроприводы рабочих органов (шпинделей) продольно-фрезерного станка.

позволяет обеспечить оптимальный режим работы машины, при котором достигается максимальная производительность. Наконец, при использовании индивидуального электропривода создаются наиболее благоприятные условия для автоматизации работы машин и технологических процессов.

Индивидуальный электропривод широко применяется в различных современных машинах, например в сложных металлорежущих станках, в прокатных станах металлургического производства, в подъемно-транспортных машинах, экскаваторах, в роботах-манипуляторах и т. п.

Примером использования индивидуального привода может служить продольно-фрезерный станок (рис. 1.4), имеющий отдельные электроприводы главных движений (приводы трех шпиндельных бабок). На том же станке (на рисунке не показаны) обычно еще установлены отдельные приводы для перемещения стола с обрабатываемым изделием, быстрого перемещения траверсы, закрепления

траверсы и приводы других механизмов, обслуживающих необходимые режимы работы станка как для автоматического цикла, так и для палачочных операций. Координация работы отдельных рабочих органов и выполнение ими соответствующих рабочих операций достигается не за счет сложных механических передач, а с помощью электрической системы управления.

Взаимосвязанный электропривод содержит два или несколько электрически или механически связанных между собой электродвигательных устройства (или электроприводов), при работе которых поддерживается заданное соотношение или равенство скоростей или нагрузок или положение исполнительных органов рабочих машин. Необходимость в таком приводе часто возникает по конструктивным или технологическим соображениям.

Примером взаимосвязанного электропривода может служить привод цепного конвейера. На рис. 1.5 показана схема такого привода, рабочим органом которого является цепь, приводимая в движение двумя или несколькими двигателями ($M1$, $M2$), расположенными вдоль цепи. Эти двигатели имеют вынужденно одинаковую скорость.

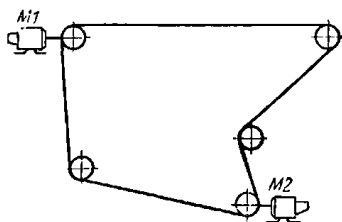


Рис. 1.5. Схема взаимосвязанного привода конвейера,

Взаимосвязанный электропривод широко применяется в различных современных машинах и агрегатах, например в копировальных металлорежущих станках и станках с программным управлением, в бумагоделательных машинах, ротационных машинах полиграфического производства, в текстильных агрегатах, в прокатных станах металлургического производства, в поточных технологических линиях по производству шинного корда, синтетических пленок и т. д.

Одной из разновидностей взаимосвязанного электропривода является **многодвигательный электропривод** — это электропривод, двигательные устройства которого совместно работают на общий вал. Примером многодвигательного привода может служить привод платформы механизма поворота мощного экскаватора. Здесь благодаря применению многодвигательного электропривода и специальному электрическому соединению двигателей удается

осуществить равномерное распределение статических и динамических нагрузок, возникающих при работе механизма поворота.

Представляет интерес современный многодвигательный электропривод переменного тока, состоящий из четырех

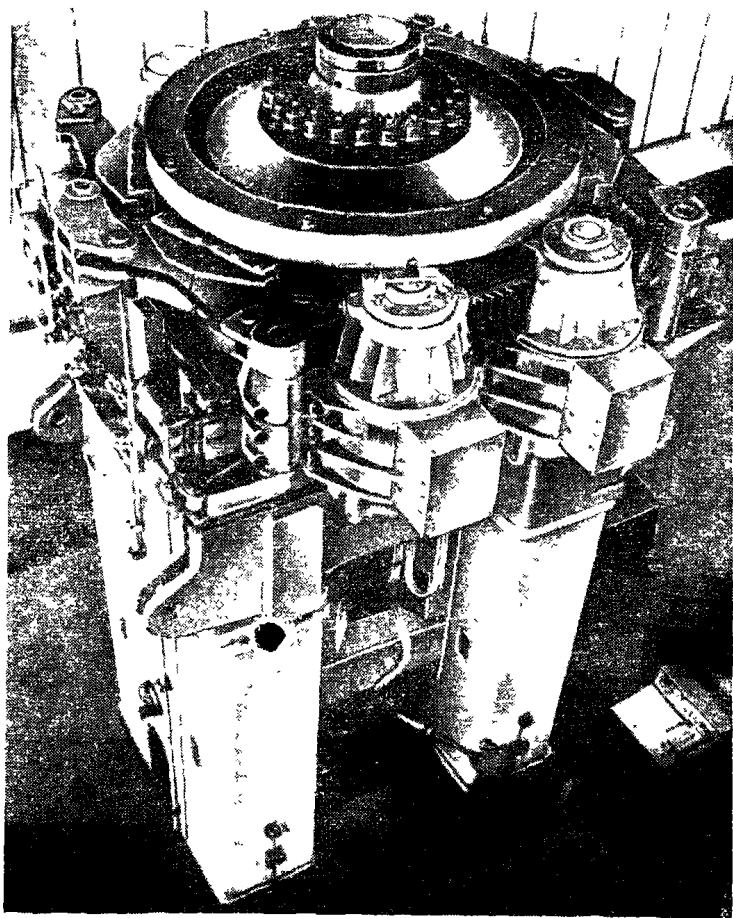


Рис. 1.6 Многодвигательный электропривод переменного тока мощного винтового пресса.

или шести двигателей, приводящих в движение общую шестерню мощного винтового пресса (рис. 1.6). Этот привод работает с большим числом включений в час, что обеспечивает высокую производительность пресса.

В том случае, когда во взаимосвязанном электроприводе возникает необходимость в поддержании постоянного соотношения скоростей рабочих органов, не имеющих механических связей, или когда осуществление механических связей затруднено, используется специальная схема электрической связи двух или нескольких электродвигателей, называемая с х е м о й э л е к т р и ч е с к о г о в а л а.

Многообразие производственных процессов обуславливает различные виды и характеры движения рабочих органов машины, а следовательно, и электроприводов.

По виду движения электроприводы могут обеспечить: вращательное однонаправленное движение, вращательное реверсивное и поступательное реверсивное движения.

Вращательное однонаправленное, а также реверсивное движение осуществляется электродвигателями обычного исполнения. Поступательное движение может быть получено путем использования электродвигателя вращательного движения обычного исполнения совместно с преобразовательным механизмом (кулисным, винтовым, реечным и т. п.) либо применения электродвигателя специального исполнения для поступательного движения (так называемые линейные электродвигатели, магнитогидродинамические двигатели и др.).

По степени управляемости электропривод может быть:

1) н е р е г у л и р у е м ы й — для приведения в действие исполнительного органа рабочей машины с одной рабочей скоростью, параметры привода изменяются только в результате возмущающих воздействий;

2) р е г у л и р у е м ы й — для сообщения изменяемой или неизменяемой скорости исполнительному органу машины, параметры привода могут изменяться под воздействием управляющего устройства;

3) п р о г р а м м н о - у п р а в л я е м ы й — управляемый в соответствии с заданной программой;

4) с л е д я щ и й — автоматически обрабатывающий перемещение исполнительного органа рабочей машины с определенной точностью в соответствии с произвольно меняющимся задающим сигналом;

5) а д а п т и в н ы й — автоматически избирающий структуру или параметры системы управления при изменении условий работы машины с целью выработки оптимального режима.

Можно классифицировать электроприводы и по роду передаточного устройства. В этом смысле электропривод бывает:

1) **редукторный**, в котором электродвигатель передает вращательное движение передаточному устройству, содержащему редуктор;

2) **безредукторный**, в котором осуществляется передача движения от электродвигателя либо непосредственно рабочему органу, либо через передаточное устройство, не содержащее редуктор.

По уровню автоматизации можно различать:

1) **неавтоматизированный** электропривод, в котором управление ручное; в настоящее время такой привод встречается редко, преимущественно в установках малой мощности бытовой и медицинской техники и т. п.;

2) **автоматизированный** электропривод, управляемый автоматическим регулированием параметров;

3) **автоматический** электропривод, в котором управляющее воздействие вырабатывается автоматическим устройством без участия оператора.

Два последних типа электропривода находят применение в подавляющем большинстве случаев.

Наконец, по роду тока применяются электроприводы **постоянного и переменного тока**.

1.2. Краткий исторический обзор развития электропривода

Развитие промышленных предприятий стало возможным лишь при переходе от ручного привода исполнительных механизмов к механическим приводам. Еще в глубокой древности применялись простейшие способы механизации работ с помощью водяных колес, приводимых в движение силой падающей или текущей воды. Известны водяные колеса, применявшиеся в Китае еще за 3000 лет до нашей эры.

С развитием капитализма в XVIII в. появились многочисленные фабрики, где широко применялись водяные двигатели, а затем и паровые машины. Вплоть до конца прошлого столетия единственным типом привода был чисто трансмиссионный, так как водяной двигатель или паровая машина соединялись с помощью канатов и ремней с главной трансмиссией, а все рабочие машины отдельного цеха или даже целой фабрики приводились в движение от этой трансмиссии.

Переход к более совершенным типам привода — индивидуальному и взаимосвязанному, которые полнее учитывают основные условия работы различных производственных механизмов, стал возможен лишь на базе широкой электрификации промышленности. Строительство электрических станций, передача электрической энергии на большие расстояния и применение электропривода создали новую эпоху в развитии промышленности,