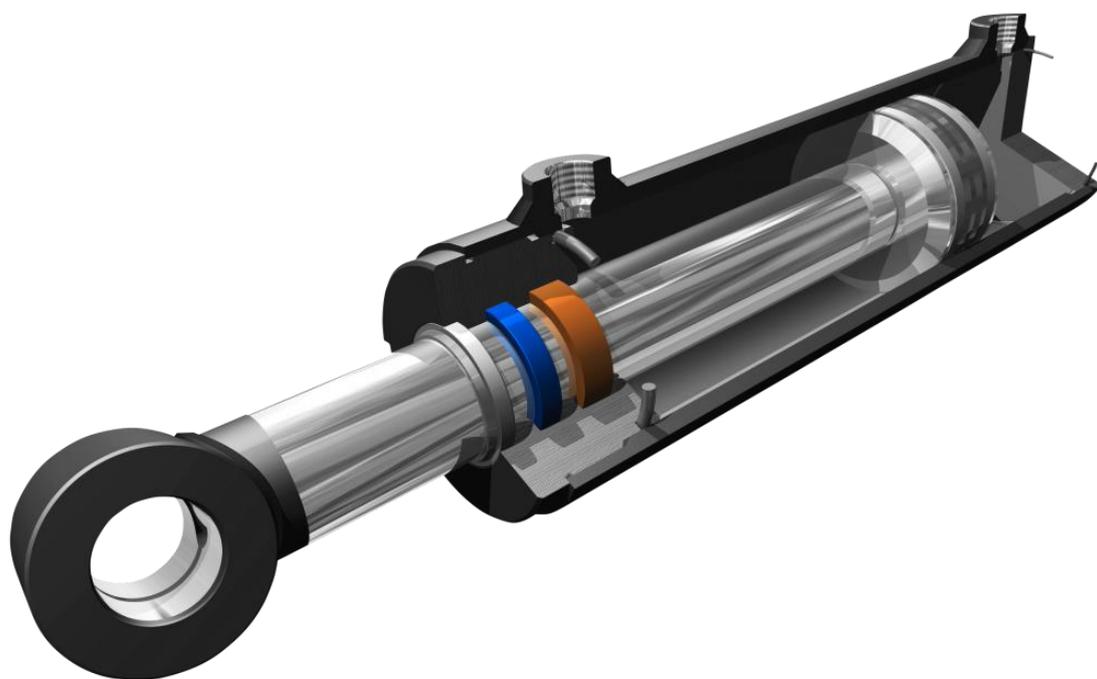


А. П. САВЕНКОВ, В. А. ЮДАЕВ

ПРИВОДЫ РОБОТОВ И МЕХАТРОННЫХ УСТРОЙСТВ



**Тамбов
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
2024**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Тамбовский государственный технический университет»

А. П. САВЕНКОВ, В. А. ЮДАЕВ

ПРИВОДЫ РОБОТОВ И МЕХАТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Утверждено Ученым Советом университета
в качестве учебного пособия
для студентов, обучающихся по направлению 15.03.06
«Мехатроника и робототехника», при изучении дисциплины
«Приводы роботов и мехатронных устройств»

Учебное электронное издание



Тамбов
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
2024

УДК 621865.8(075.8)

ББК [32.816+32.966]я73

С12

Рецензенты:

Генеральный директор ООО «СКИЛЛБОТ»

Р. Р. Ковалев

Кандидат технических наук, доцент кафедры

«Информационные системы и защита информации» ФГБОУ ВО «ТГТУ»

Ю. В. Минин

Савенков, А. П.

С12 Приводы роботов и мехатронных устройств [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. П. Савенков, В. А. Юдаев. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2024. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Системные требования : ПК не ниже класса Pentium II ; CD-ROM-дисковод ; 3,0 Мб ; RAM ; Windows 95/98/XP ; мышь. – Загл. с экрана.

ISBN 978-5-8265-2809-9

Разработано для изучения материала и проведения лабораторных работ, связанных с исследованиями характеристик достаточно распространенных исполнительных элементов привода мехатронных и робототехнических систем – коллекторных двигателей постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов, а также с тепловыми режимами двигателей переменного тока (асинхронных и синхронных) и методами их управления.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению 15.03.06 «Мехатроника и робототехника», при изучении дисциплины «Приводы роботов и мехатронных устройств».

УДК 621865.8(075.8)

ББК [32.816+32.966]я73

*Все права на размножение и распространение в любой форме остаются за разработчиком.
Незаконное копирование и использование данного продукта запрещено.*

ISBN 978-5-8265-2809-9

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»), 2024

ВВЕДЕНИЕ

В мире предусматривается увеличение производства автоматизированных и роботизированных комплексов, а также гибких производственных систем для различных отраслей.

Основные элементы гибкой производственной системы – роботы различного назначения, станки с числовым программным управлением, станки типа «обрабатывающие центры», автоматические склады и т.д. – снабжены автоматизированными приводами.

Из элементов гибкой производственной системы наиболее высокие требования по точности, быстродействию, надежности и т.д. предъявляются к приводам станков и роботов. Вместе с тем приводы роботов имеют существенные особенности, связанные в первую очередь с областью применения и характером нагрузок. Именно поэтому в конструкциях промышленных роботов широко применяются пневматические, электрогидравлические и электрические приводы, различающиеся принципом действия и функциональными возможностями.

В данном учебном пособии уделено внимание всем указанным типам приводов.

Следует отметить, что если на первых этапах развития робототехники наиболее широкое распространение имели пневматические и гидравлические приводы, то в последнее время, как показывает мировая практика роботостроения, наметилась очевидная тенденция широкого использования электроприводов. Именно поэтому сейчас активно разрабатываются новые типы автоматизированных электроприводов, осваивается серийный выпуск комплектующих изделий для гибких производственных систем и промышленных роботов.

Первые станки с числовым программным управлением появились в начале XX в. Примерно с этого же периода активно разрабатывается и теория расчета приводов, постоянно модернизируются конструкции приводов, их систем управления. Особенно бурно процесс совершенствования протекает в последние несколько десятилетий, что несомненно связано с достижениями в области приборостроения, электроники, вычислительной техники.

1. ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Работа электропривода характеризуется в первую очередь механической характеристикой двигателя. Механической характеристикой двигателя называется зависимость частоты вращения ротора от момента на валу.

Двигатель постоянного тока состоит из следующих конструктивных элементов (рис. 1.1):

1) ротора (вращающаяся часть двигателя состоящая из магнитопровода и катушек, которые являются аналогом рамки из провода в элементарном электрическом двигателе);

2) статора (неподвижная часть электродвигателя, в которой располагаются либо постоянные магниты, либо электромагниты для создания магнитного поля. Аналогично с элементарным электродвигателем);

3) щеточно-коллекторный узел (который представляет из себя множество контактов, через которые посредством щеток напряжение подается на катушки ротора. Располагается на оси ротора).

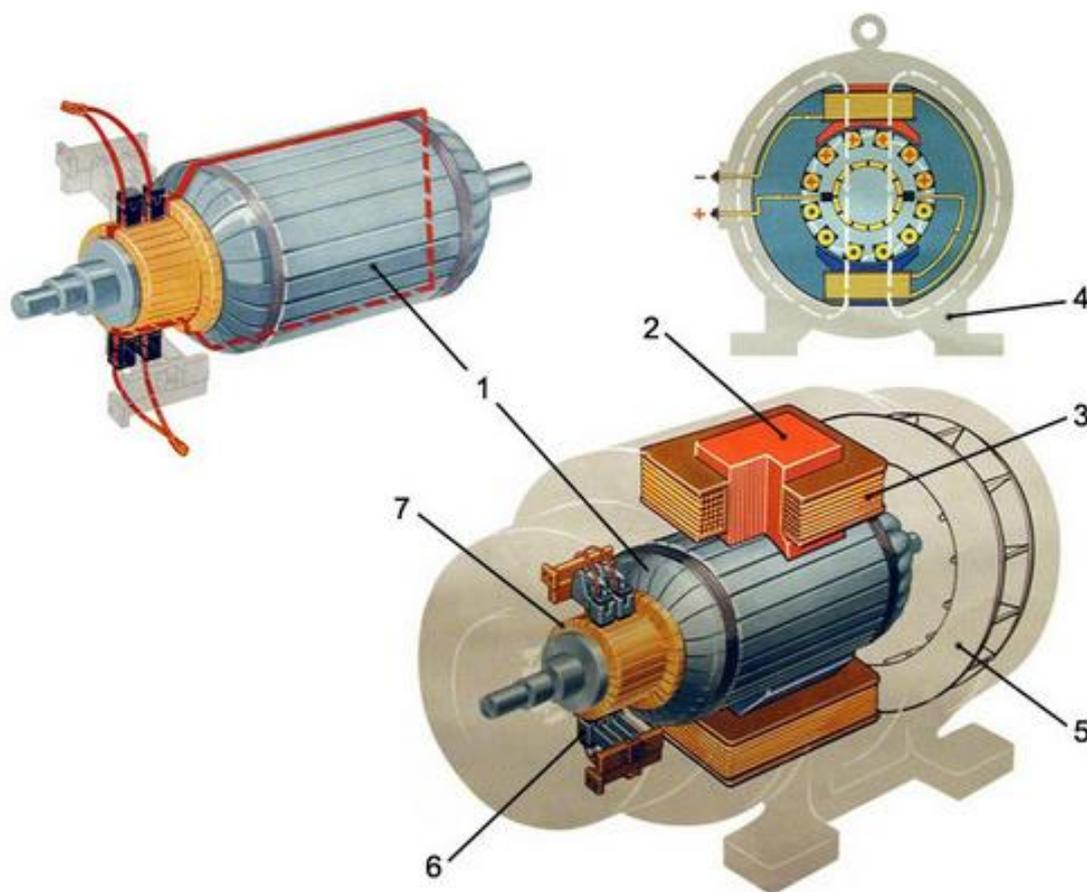


Рис. 1.1. Устройство двигателя постоянного тока:

1 – якорь; 2 – сердечник полюса; 3 – обмотка полюса; 4 – статор;
5 – вентилятор; 6 – щетки; 7 – коллектор

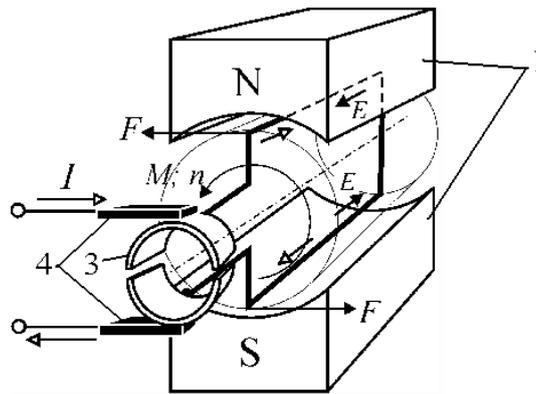


Рис. 1.2. Схема электрической машины постоянного тока, поясняющая принцип работы

На рисунке 1.2 представлена упрощенная схема, поясняющая принцип работы электрических машин постоянного тока.

Между полюсами постоянного магнита I расположен проводник, по которому через щетки 4 и пластины коллектора 3 протекает ток I . При взаимодействии магнитного поля проводника с полем постоянного магнита возникает сила F , действующая на проводник. Направление силы F можно определить по правилу левой руки. Силы F действуют на верхнюю и нижнюю (по схеме) части проводника в противоположные стороны, в результате чего формируется момент пары сил M , поворачивающий проводник против часовой стрелки. После поворота на 180° верхняя и нижняя части проводника поменяются местами, но направления тока I , силы F и момента M сохраняются, так как одновременно с поворотом произойдет переключение в щеточно-коллекторном узле $3-4$. Этот узел является одним из основных элементов машин постоянного тока и отличает их от других электрических машин. Он необходим для сохранения постоянного направления вращения.

Из рисунка 1.2 видно, что при повороте проводника на 90° , на него не будет действовать момент M , так как плечо пары сил F будет равно нулю, а, кроме того, между щетками 4 произойдет короткое замыкание через пластины коллектора 3 . Поэтому реальные электрические машины постоянного тока никогда не изготавливают с одной обмоткой и двумя пластинами коллектора. Минимальное число обмоток и пластин коллектора равно трем. Причем так изготавливают только дешевые малогабаритные электродвигатели для неответственных устройств. Обычно число коллекторных пластин не менее пяти даже у маломощных электродвигателей.

Электрические машины постоянного тока обладают свойством обратимости. Это означает, что одна и та же машина может выполнять функцию генератора электрической энергии и электродвигателя. Более того, в каком бы режиме не использовалась машина, она работает и как генератор, и как двигатель одновременно. При протекании тока нагрузки по обмоткам якоря генератора он создает тормозящий момент, а при вращении якоря электро-

двигателя в обмотках наводится электродвижущая сила (ЭДС) индукции. По этой причине электродвигатель постоянного тока в различных режимах работы (например, во время пуска и торможения) является как двигателем, так и генератором.

Для пуска электродвигателя постоянного тока щетки 4 подключают к источнику с напряжением U . При движении проводников в магнитном поле в них возникает ЭДС E индукции, направление которой противоположно ЭДС источника, в чем можно убедиться, применяя правило левой руки. По второму закону Кирхгофа для якорной цепи запишем уравнение

$$U - E = IR, \quad (1.1)$$

где I – ток в обмотках якоря, А; R – полное сопротивление цепи якоря, состоящее из сопротивления всех обмоток якоря, обмоток дополнительных полюсов, компенсационных обмоток и соединительных проводов, Ом.

ЭДС обмотки якоря можно найти в соответствии с уравнением Максвелла:

$$E = k\Phi\omega, \quad (1.2)$$

где $k = \frac{pN}{2\pi a}$ – коэффициент, определяемый конструктивными параметрами электродвигателя; p – число пар полюсов; N – число активных (находящихся в области действия магнитного поля) проводников обмотки якоря; a – число параллельных ветвей обмотки якоря; Φ – магнитный поток, протекающий по магнитопроводу, Вб; ω – угловая скорость вращения вала двигателя, рад/с.

Подставив (1.2) в (1.1) и решив полученное выражение относительно угловой скорости ω , получим уравнение электромеханической характеристики двигателя постоянного тока:

$$\omega(I) = \frac{2\pi a}{pN\Phi} (I - UR). \quad (1.3)$$

Электромагнитный момент двигателя можно определить исходя из уравнения Фарадея:

$$M = k\Phi I = \frac{pN\Phi}{2\pi a} I. \quad (1.4)$$

Из уравнений (3) и (4) можно сделать несколько важных выводов об основных параметрах работы электродвигателя постоянного тока: круговой частоте вращения ω и моменте на валу M . Обратим внимание на все параметры, кроме электрических I и U , о которых речь пойдет далее. Как и в любой другой механической системе, конструктивные параметры, отвечающие за изменение момента и частоты вращения, взаимосвязаны. Так, при увеличении числа пар полюсов p , числа проводников N и магнитного потока Φ возрастает момент M , и в такое же число раз убывает частота вращения ω . При увеличении числа параллельных

ветвей а момент убывает, а частота вращения возрастает. Знание этих закономерностей при проектировании электродвигателей позволяет сконструировать машину с требуемыми механическими параметрами без использования редукторов. Кроме увеличения числа N проводников в обмотках якоря, для повышения момента M целесообразно увеличивать магнитный поток Φ путем увеличения тока в обмотках возбуждения.

Выразив из (1.4) ток I и подставив его в (1.3), получим уравнение механической характеристики двигателя постоянного тока (рис. 1.3)

$$\omega(M) = \frac{U}{k\Phi} - M \frac{R}{(k\Phi)^2}. \quad (1.5)$$

Уравнение (1.5) является линейным, поэтому график теоретической механической характеристики электродвигателя представляет собой прямую (линия 3 на рис. 1.3). Реальная механическая характеристика электродвигателя постоянного тока может иметь нелинейный характер из-за реакции якоря. Этот эффект проявляется при токах якоря, на 50...70% превышающих номинальное значение, и заключается в уменьшении магнитного потока Φ . Уменьшение магнитного потока в соответствии с (1.5) приводит к увеличению частоты вращения. Поэтому при больших нагрузках в некоторых двигателях возможно увеличение скорости вращения. Двигатели с такими характеристиками неустойчивы, поэтому для стабильной работы в них устанавливают дополнительную стабилизирующую обмотку.

Естественной механической характеристикой двигателя постоянного тока называют зависимость угловой скорости ω от момента M , полученную при номинальной схеме включения двигателя, номинальных параметрах напряжения обмоток якоря и возбуждения и отсутствии добавочных сопротивлений в цепях двигателя. Все остальные характеристики называют искусственными. Искусственные характеристики получают при регулировании скорости вращения.

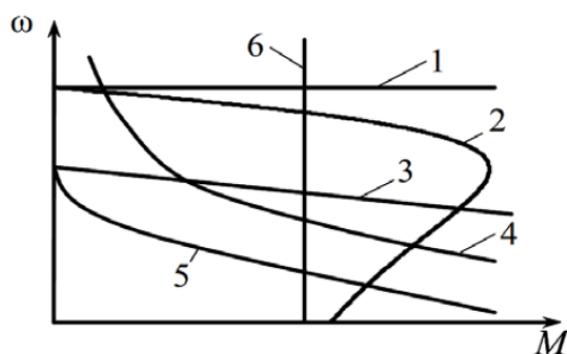


Рис. 1.3. Механические характеристики различных электродвигателей

Рассмотрим особенности работы электродвигателя постоянного тока в различных режимах. Электродвигатель сравнительно небольшой мощности можно запустить подачей на его вход номинального напряжения. В момент включения частота вращения ω равна нулю. В соответствии с (1.2) ЭДС E также равна нулю, следовательно, ток I ограничивается только сопротивлением R (см. (1.1)). Этот ток может быть очень большим, так как сопротивление R обмоток якоря мало. По этой причине двигатели большой мощности пускают в ход с помощью специальных пусковых устройств.

Большой пусковой ток I в соответствии с (1.4) создает большой момент M , под действием которого ротор двигателя быстро разгоняется. Увеличение скорости вращения приводит к увеличению ЭДС E (см. (1.2)) и уменьшению тока I (см.(1.1)). С ростом угловой скорости ω угловое ускорение постоянно уменьшается, так как уменьшается движущая сила процесса – разность $U - E$. В установившемся режиме работы двигатель без нагрузки почти не потребляет энергии, так как $U - E \rightarrow 0$. Энергия расходуется только на преодоление сил сопротивления: механических и аэродинамических. Максимальная частота вращения двигателя может быть определена по формуле (1.3), если ток I принять равным нулю.

Если разогнанный двигатель нагрузить, например, путем приведения в соприкосновение с обрабатываемой деталью рабочего инструмента станка, то скорость вращения уменьшится, что в соответствии (1.2) и (1.1) приведет к увеличению тока I , который в свою очередь, в соответствии с (1.4) повысит вращающий момент до необходимого уровня. Уравнение (1.4) устанавливает связь между моментом M и током потребления I и является следствием закона сохранения энергии. Механическая мощность $M \cdot \omega$ приближенно равна мощности $U \cdot I$, потребляемой от электрической сети.

По способу соединения обмоток возбуждения и якоря выделяют электродвигатели постоянного тока:

- с независимым возбуждением (рис. 1.4);
- с последовательным возбуждением;
- с параллельным возбуждением;
- со смешанным возбуждением.

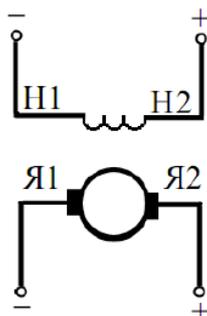


Рис. 1.4. Схема соединения обмоток с независимым возбуждением

У электродвигателя с независимым возбуждением обмотка возбуждения (Н1 – Н2) и обмотка якоря (Я1 – Я2) питаются от разных источников. Это, как правило, двигатели большой мощности.

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H}. \quad (1.6)$$

Построение естественной механической характеристики (5) удобно производить по точкам, одна из которых соответствует номинальному моменту двигателя и номинальной скорости, а другая – скорости идеального холостого хода. Естественная характеристика получается при номинальных параметрах: номинальном напряжении, номинальном токе возбуждения, отсутствии добавочного сопротивления в цепи якоря.

Координаты точек определяются следующим образом:

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H}; \quad (1.7)$$

$$\omega_H = \frac{\pi n_H}{30} = 0,105 \cdot n_H; \quad (1.8)$$

$$M = 0;$$

$$\omega_o = \omega_H \frac{U_H}{U_H - R_H I_H}, \quad (1.9)$$

где U_H – номинальное напряжение; I_H – номинальный ток; n_H – номинальный КПД двигателя; R_H – номинальное сопротивление.

Электродвигатели постоянного тока в отличие от, например, шаговых, не позволяют обеспечить точное перемещение вала на заданный угол. Стабилизировать частоту вращения и управлять положением вала можно различными путями, однако без применения датчиков положения точность позиционирования рабочего органа будет не достаточной для применения в мехатронной системе. Для получения информации о пройденном угловом перемещении валом электродвигателя постоянного тока применяют специальные устройства – энкодеры.

Энкодер или датчик углового перемещения предназначен для создания отрицательной обратной связи. Энкодер обеспечивает блок управления БУ информацией о фактическом угловом перемещении вала электродвигателя. БУ сравнивает текущее фактическое перемещение с необходимым перемещением в данный момент времени и формирует соответствующий управляющий сигнал для увеличения или уменьшения скорости вращения.

Такая система с обратной связью называется сервоприводом. В общем смысле сервопривод – это привод с управлением через отрицательную обратную связь, позволяющую точно управлять параметрами движения. Сервоприводом является любой тип механического привода, имеющий в составе датчик (положения, скорости, усилия и т.п.) и блок управления

приводом, автоматически поддерживающий необходимые параметры на датчике и устройстве согласно заданному внешнему значению. Сервопривод является наиболее близким понятием к термину «исполнительный механизм», используемому в автоматике.

Энкодер – это устройство, преобразующее линейное или угловое перемещение в последовательность сигналов, позволяющих определить величину перемещения. Можно выделить угловые и линейные энкодеры. Угловой энкодер – устройство, преобразующее угол поворота вращающегося вала в электрические сигналы, позволяющие определить этот угол. Линейные энкодеры преобразуют в электрические сигналы линейное перемещение [1].

Энкодеры можно разделить на два типа:

- абсолютные, позволяющие получить абсолютное значение угла поворота (например, переменный резистор);
- инкрементные, позволяющие определить угол поворота в ту или иную сторону относительно некоторого неизвестного начального положения.

Для определения абсолютного перемещения в мехатронных системах с инкрементными энкодерами применяют дополнительные датчики положения. Большинство используемых энкодеров являются инкрементными.

По принципу действия энкодеры подразделяются на:

- энкодеры с щеточными контактами;
- резисторные энкодеры (потенциометры);
- оптические энкодеры;
- магнитные энкодеры (на основе датчиков Холла);
- индуктивные энкодеры;
- емкостные энкодеры.

Широко распространены оптические инкрементные энкодеры на основе оптопар (фотоэлементов, см. рис. 1.5). Такие энкодеры работают по двум принципам: «на просвет» и «на отражение». В первом случае луч от источника света, направленный на фотоэлемент, периодически прерывается диском со специальными прорезями (или прозрачным диском с непрозрачными штрихами), вращающимся на валу, во втором – источник и приемник света находятся по одну сторону непрозрачного диска с областями с разной отражающей способностью. В обоих случаях фотоприемник фиксирует переход от одной области к другой, и энкодер генерирует импульс, инкрементирующий «счетчик положения».

На рисунке 1.5 представлен самый простой вариант реализации энкодера – одиночный. Он имеет только один фотоэлемент (одну оптопару). К недостаткам такого энкодера относятся ошибки при подсчете импульсов на границах из-за возможных ложных срабатываний и невозможность определения направления вращения.

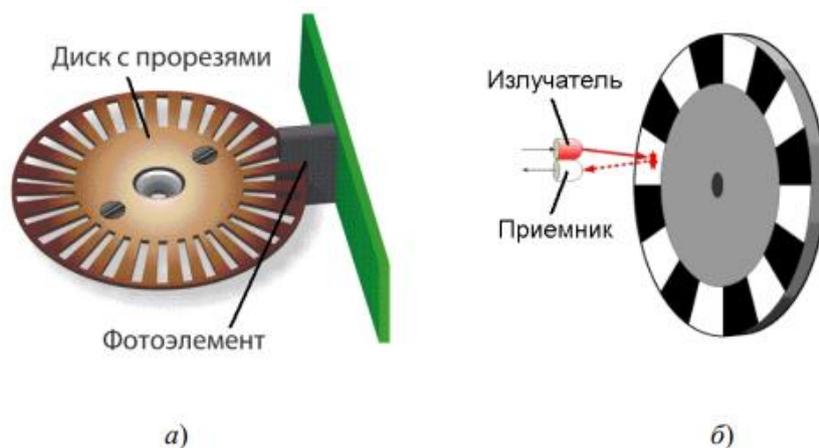


Рис. 1.5. Схемы фотоэлектрических инкрементных энкодеров:

а – «на просвет»; *б* – «на отражение»

В сдвоенном (квадратурном) энкодере используются две оптопары, выходные сигналы которых сдвинуты по фазе на 90° . Это позволяет определять направление вращения и распознать ложные срабатывания. Электрические сигналы таких преобразователей перемещения называют фазами *A* и *B*. К этим двум фазам добавляют третью фазу (*R* или *Z*), сигнализирующую о некотором фиксированном начальном положении вала. Примером квадратурных энкодеров могут служить датчики типа E30S, ЛИР-112.

Выходной сигнал квадратурных энкодеров может быть как синусоидальным, так и прямоугольным. В любом варианте реализации фазы сигналов сдвинуты на 90° . При вращении вала энкодера с прямоугольным выходным сигналом в одном направлении происходит последовательная смена сигналов $UA = 0, UB = 0$; $UA = 1, UB = 0$; $UA = 1, UB = 1$; $UA = 0, UB = 1$; а в другом – $UA = 0, UB = 0$; $UA = 0, UB = 1$; $UA = 1, UB = 1$; $UA = 1, UB = 0$, где *UA* и *UB* – напряжения фаз *A* и *B*, соответственно. Эти сигналы можно непосредственно подавать на входы портов микроконтроллера и использовать в соответствующем алгоритме управления.

Кроме энкодеров, применяются и другие преобразователи вращательного движения в электрические сигналы. Это, например, тахогенераторы, преобразующие частоту вращения вала в пропорциональное выходное напряжение. Их применение не оправдано ввиду присущей им мультипликативной погрешности, которая равна нулю при использовании энкодеров. Используются также сельсины и вращающиеся трансформаторы. Сельсины – это элементы синхронной связи, обеспечивающие одновременный поворот или одновременное вращение нескольких, механически не связанных между собой валов. Вращающиеся трансформаторы предназначены для получения переменного напряжения, находящегося в функциональной зависимости от угла поворота ротора и по сути являются одним из видов энкодеров.

ПОЛУЧЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель работы: усвоить принцип работы электрических машин и изучить факторы, влияющие на частоту вращения ротора электродвигателя.

Задание.

1. Изучить устройство установки.
2. Измерить электрические характеристики при движении привода вниз и вверх.
3. Рассчитать КПД двигателя.

Порядок выполнения работы

1. Для выполнения лабораторной работы потребуется установка FischerTechnic, набор грузов, мультиметр, секундомер.

2. Отсчитываем постоянное число оборотов n_0 .

3. Включаем двигатель при нулевой массе и отсчитываем время прохождения вверх до обозначенной метки, а также снимаем показания тока I и напряжения U . Данные записываем в табл. 1.

4. Включаем двигатель при нулевой массе и отсчитываем время прохождения вниз до обозначенной метки, а также снимаем показания тока I и напряжения U . Данные записываем в табл. 1.

5. Повторяем пп. 3, 4 при $m = 100$ г, $m = 200$ г, $m = 300$ г, $m = 400$ г, $m = 500$ г, $m = 600$ г и на холостом ходу. Данные заносим в таблицу.

6. Рассчитываем количество оборотов в минуту N (об/мин) для каждого значения, (кроме холостого хода).

$$N = \frac{n_0}{t}.$$

7. Рассчитываем КПД для каждого значения

$$\eta = \frac{P_{\text{ВЫХ}}}{P_{\text{ВХ}}} 100\% = \frac{mgh}{UIt} 100\%.$$

8. Строим графики механической характеристики $N = f(m)$ и характеристики $I = f(m)$ для движения вверх и вниз.

9. Делаем выводы о проделанной лабораторной работе.

Таблица 1

№	m , г	I , А		N , об/мин		t , с		η , %	U , В	
		вверх	вниз	вверх	вниз	вверх	вниз	вверх	вверх	вниз
1	0									
2	100									
3	200									
4	300									
5	400									
6	500									
7	600									
х.х.	0									

Контрольные вопросы

1. Почему зависимость $I(m)$ $m = 0$ не совпадает для движения вверх и вниз?
2. Какой ток электродвигатель потребляет на холостом ходу? Объясните теоретически.
3. Почему на холостом ходу реальный электродвигатель потребляет ток?
4. Объясните сложный характер зависимости $I(m)$ при движении подъемника вниз?
5. Как по графикам $I(m)$ можно оценить массу подъемной конструкции?
6. Объясните принцип зависимости тока I от момента M на валу электродвигателя?

2. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ДВИГАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Исполнительные устройства предназначены для преобразования управляющих (командных) сигналов в регулирующие воздействия на объект управления. Практически все виды воздействий сводятся к механическому, т.е. к изменению величины перемещения, усилия к скорости возвратно-поступательного или вращательного движения. Исполнительные устройства являются последним звеном цепи автоматического регулирования и в общем случае состоят из блоков усиления, исполнительного механизма, регулирующего и дополнительных (обратной связи, сигнализации конечных положений и т.п.) органов. В зависимости от условий применения рассматриваемые устройства могут существенно различаться между собой. К основным блокам исполнительных устройств относят исполнительные механизмы и регулирующие органы.

Исполнительные двигатели постоянного тока – маломощные машины, используемые в автоматике и телемеханике, в системах автоматического управления, регулирования и контроля автоматизированных установок, где они преобразуют электрический сигнал измерительного органа – напряжение управления – в угловое перемещение вала для воздействия на управляющий, регулирующий или контролирующий аппарат. В тех случаях, когда поступающий сигнал не достаточен для приведения в действие исполнительного двигателя, применяют магнитный или полупроводниковый усилитель мощности.

Исполнительные двигатели обычно работают в условиях частых пусков, остановок и реверсов. Они отличаются значительным начальным пусковым моментом и быстродействием. Зависимости вращающего момента и скорости якоря от напряжения управления у них в большинстве случаев близки к линейным.

В зависимости от системы питания цепей двигателя различают исполнительные двигатели с якорным управлением и с полюсным управлением. При якорном управлении обмоткой управления является обмотка якоря, в связи с чем напряжение управления подводят к ее зажимам, а неизменный ток возбуждения обеспечивает независимый источник электрической энергии постоянного напряжения. В случае полюсного управления обмоткой управления служит обмотка возбуждения главных полюсов и напряжение управления подводят к ее зажимам, а напряжение на зажимах якоря, задаваемое независимым источником электрической энергии постоянного напряжения, сохраняется неизменным.

Обычно используют якорное управление. Изменение полярности напряжения управления вызывает противоположное направление вращения якоря.

Исполнительные двигатели постоянного тока изготавливают номинальной мощности от долей ватта до 600 Вт нормальной и специальной конструкций.

Двигатели нормальной конструкции аналогичны машинам постоянного тока общего применения, но отличаются от них тем, что станина с главными полюсами так же, как и якорь, собрана из тонких, изолированных друг от друга листов электротехнической стали, что способствует улучшению свойств этих машин в переходных режимах. Кроме того, добавочные полюсы в этих машинах отсутствуют, так как реакция якоря невелика, и процессы коммутации вполне удовлетворительны. Поскольку скорость якоря небольшая, вентилятор на валу таких двигателей не предусмотрен [2].

К двигателям специальной конструкции относятся магнитоэлектрические машины с возбуждением основного магнитного поля с помощью постоянных магнитов, а также малоинерционные машины, отличающиеся конструкцией якоря. К последним относятся: двигатели с полым немагнитным якорем – полым тонкостенным цилиндром из пластмассы с запрессованной обмоткой из медного провода с внутренним неподвижным ферромагнитным магнитопроводом, укрепленным на подшипниковом щите, и менее долговечные двигатели с дисковым якорем – тонким немагнитным диском из керамики, текстолита, стекла, а иногда из алюминия с печатной обмоткой, представляющей совокупность радиально расположенных по обе стороны диска проводников из медной фольги, по которой скользят серебряно-графитные щетки. Названные конструкции отличаются малым моментом инерции якоря, что обеспечивает высокое быстродействие исполнительного двигателя.

Масса исполнительных двигателей постоянного тока в 2 – 4 раза меньше, чем масса одинаковых по номинальной мощности исполнительных асинхронных двигателей, а КПД их при номинальной мощности 5...10 Вт составляет около 0,3 и достигает значения 0,65 и несколько выше для двигателей номинальной мощностью 200...300 Вт.

Главные составные части электрического исполнительного механизма:

- электродвигатель;
- устройство передачи вращения (редуктор, шестерни, трансмиссия);
- перемещающийся шток или винт;
- система управления (куда входят узлы конечных выключателей, усилительные элементы, преобразователи сигнала и т.п.).

Синхронные гистерезисные двигатели имеют ротор из магнитотвердого сплава с широкой петлей гистерезиса. В целях экономии этого дорогостоящего материала ротор выполняют сборной конструкции, при которой вал крепится на втулке из ферро- или диамагнитного материала, а на ней укрепляют сплошной или собранный из пластин полый цилиндр, затянутый запорным кольцом. Использование магнитно-твердого сплава для изготовления ротора приводит к тому, что в работающем двигателе волны распределения магнитной индукции по поверхностям статора и ротора смещены друг относительно друга на некоторый

угол, называемый углом гистерезиса, что обуславливает возникновение гистерезисного вращающего момента, направленного в сторону вращения ротора.

Различие между синхронными двигателями с постоянными магнитами синхронными гистерезисными двигателями состоит в том, что у первых ротор при изготовлении машин подвергается предварительному намагничиванию в сильном импульсном магнитном поле, а у вторых он намагничивается вращающимся магнитным полем статора.

Лабораторная работа 2

ИЗУЧЕНИЕ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Цель работы: получить представление об электродвигателях, алгоритмов управления двигателями, научиться применять звенья с петлей гистерезиса.

Задание.

1. Определить, на что влияет ширина петли гистерезиса в системе управления электродвигателя.
2. Получить две статические характеристики при разной ширине петли гистерезиса.
3. Описать элементы схемы системы управления.

Порядок выполнения работы

1. Изучить схему управления электродвигателем (рис. 2.1).

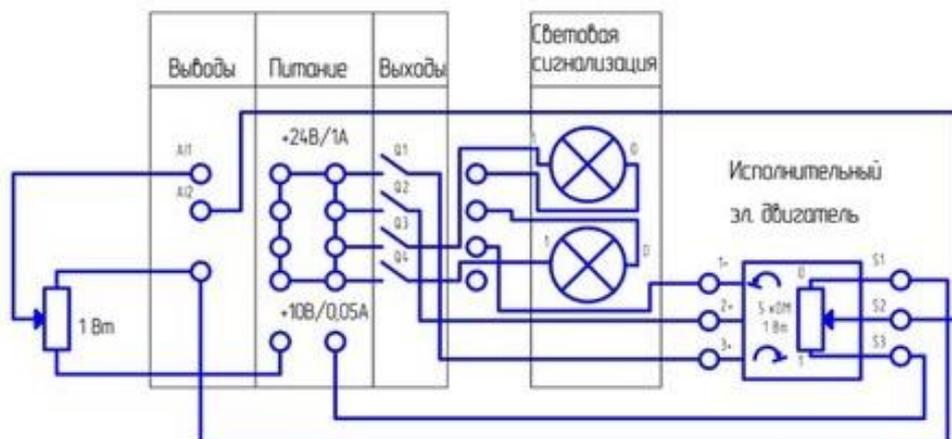


Рис. 2.1. Схема включения электродвигателя

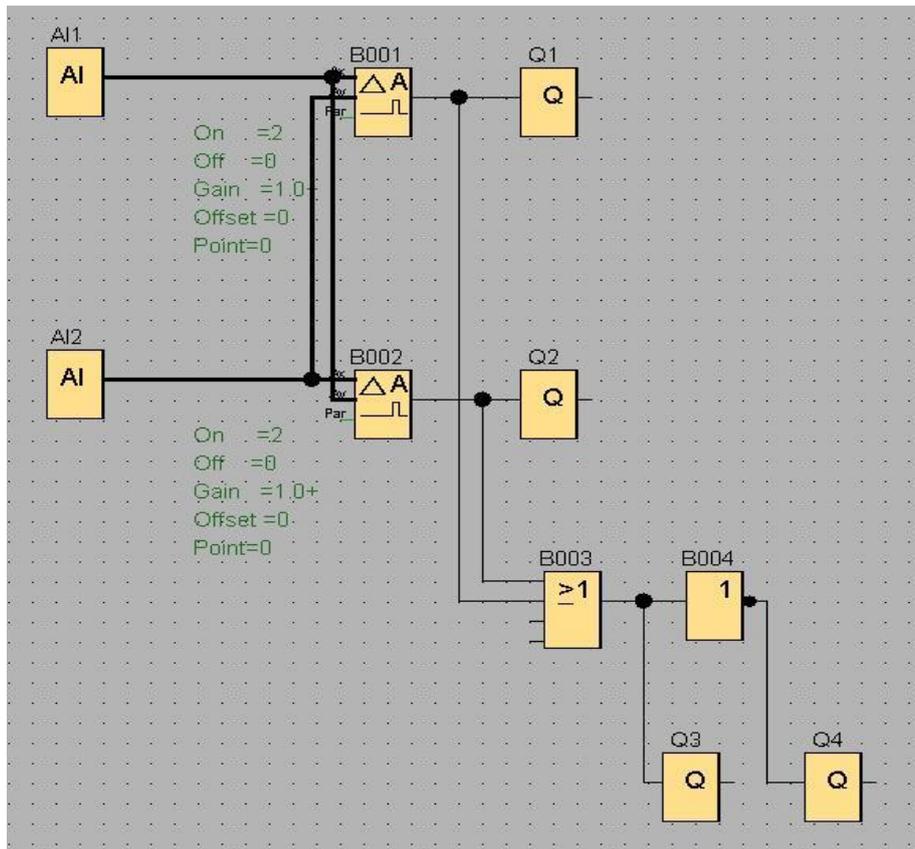
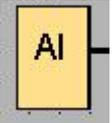
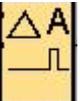


Рис. 2.2. Коммутационная программа и ее описание

2. Алгоритм управления двигателем (рис. 2.2).

2.1. Используемые функции в коммутационной программе

	AI1, AI2 – аналоговые входы контроллеров A1
	B001, B002 – аналоговые пороговые выключатели. При настройке устанавливают одинаковые значения порогов включения и выключения
	B003 – функция ИЛИ
	B004 – функция НЕ
	Q1, Q2, Q3, Q4 – выходы программируемого контроллера. Управляют, соответственно, желтой лампой, зеленой лампой, вращением против и по часовой стрелке

2.2. Пример заполнения результатов измерения

$\Delta = 3$				$\Delta = 30$			
U, В		φ, град		U, В		φ, град	
пр. ход	обр. ход	пр. ход	обр. ход	пр. ход	обр. ход	пр. ход	обр. ход
0	0	-5	-5	0	0	-5	-5
1,013	1,014	6	4	1,036	0,947	7	4
2,032	1,954	16	15	2,257	2,015	20	15
3,038	3,04	29	30	3,06	2,994	29	25
4,03	4,01	39	36	3,99	3,98	39	36
5	4,98	49	45	5,01	4,96	49	45
6	5,95	58	54	6	5,97	52	54
7	6,96	69	65	7,01	6,96	69	65
8	8	79	75	8	7,95	79	75
9	8,9	88	84	9,05	8,89	88	84
10	10	96	96	10,09	10,09	96	96

3. Снятие статических характеристик при разной ширине петли и построение графиков.

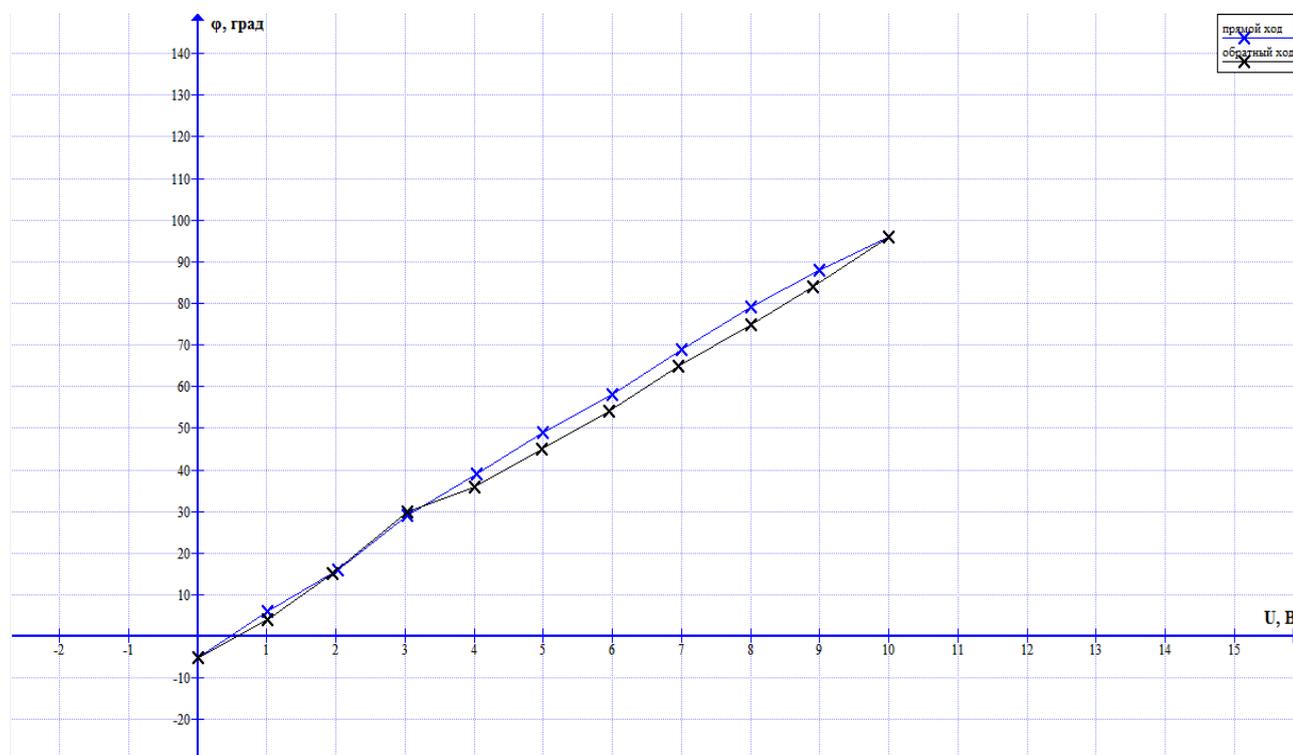


Рис. 2.3. Статическая характеристика при ширине петли гистерезиса $\Delta = 3$

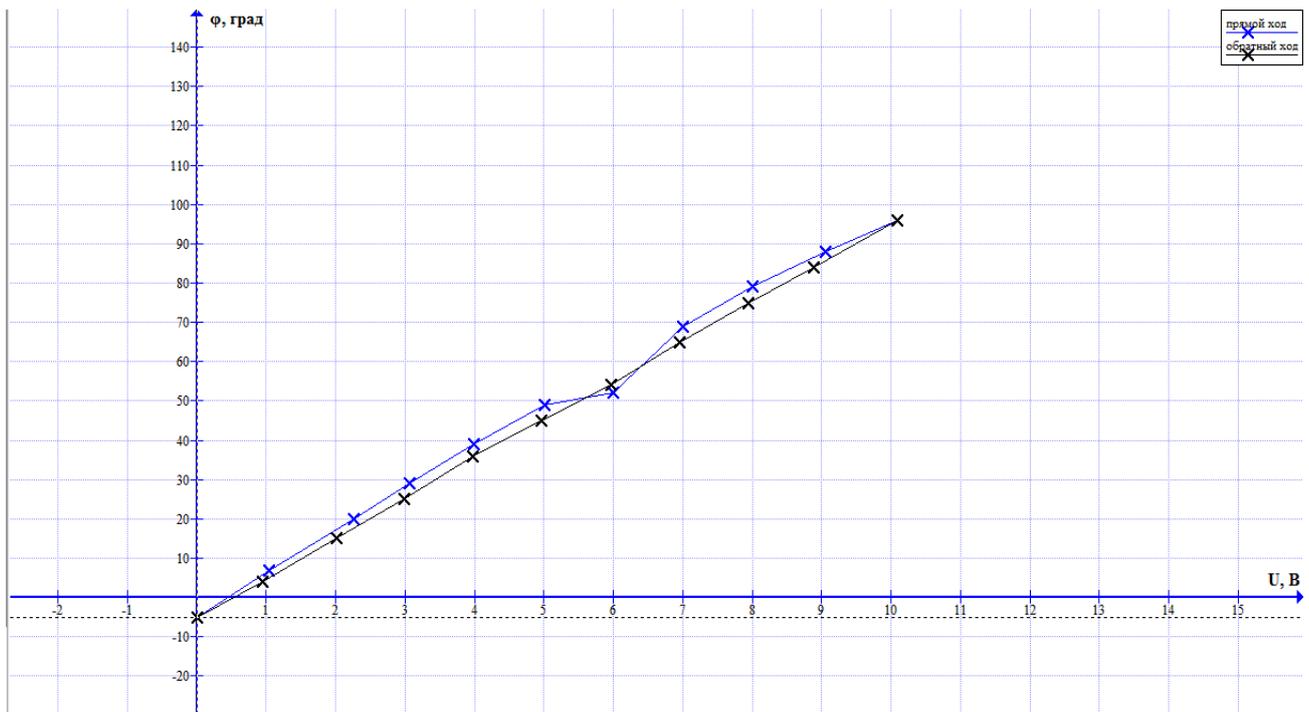


Рис. 2.4. Статическая характеристика при ширине петли гистерезиса $\Delta = 30$

Контрольные вопросы

1. Что называют исполнительным электродвигателем?
2. Какие способы и устройства для позиционирования перемещения вы знаете?
3. Объяснить алгоритм управления исполнительного электродвигателя.
4. Изобразить схему системы регулирования.
5. Зачем применяют петлю гистерезиса?
6. На что влияет ширина петли гистерезиса?
7. Построить графики.

3. ШАГОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ

Одним из видов синхронных электродвигателей являются шаговые. Такое название они получили благодаря тому, что их вал обычно совершает дискретное перемещение на заданный угол (шаг) под действием управляющих импульсов, подаваемых на обмотки статора. Эти двигатели являются синхронными благодаря тому, что ротор отслеживает магнитное поле, создаваемое обмотками. В результате этого шаговые двигатели позволяют без применения датчиков положения обеспечить точное позиционирование вала и рабочего органа путем подачи заданного числа импульсов. Этим и обусловлено их широкое применение мехатронных устройствах различного размера и назначения: микромехатронных устройств бытового назначения (CD-ROM, принтеры) до промышленных станков.

К достоинствам шаговых двигателей следует отнести:

- высокую точность до 3% от величины шага при 200 шагах на оборот;
- отсутствие мультипликативной погрешности позиционирования;
- возможность быстрого старта, остановки или реверсирования;
- возможность получения низких скоростей вращения без редуктора;
- высокая надежность и безопасность, связанная с отсутствием щеток.

Недостатки шаговых двигателей:

- шаговым двигателям, как и другим синхронным, присуще явление резонанса;
- возможна потеря контроля положения при работе без обратной связи, связанная, например, с превышением максимально допустимого момента нагрузки на валу;
- без нагрузки в режиме торможения потребление энергии не меньше, чем при совершении работы;
- затруднена работа на высоких скоростях;
- невысокая удельная мощность;
- относительно сложная схема управления.

Существование подобных недостатков приводит к необходимости использования сервоприводов энкодерами вместо шаговых двигателей. Системы с обратной связью способны работать с большими ускорениями и при переменном характере нагрузки. Если нагрузка шагового двигателя превысит его момент, то информация о положении ротора теряется, и система требует базирования с помощью, например, концевого выключателя или другого датчика. Системы с обратной связью не имеют подобного недостатка. При проектировании конкретных систем приходится делать выбор между сервомотором и шаговым двигателем. Когда требуется прецизионное позиционирование и точное управление скоростью, а требуемый момент и скорость не выходят за допустимые пределы, то шаговый двигатель является

наиболее экономичным решением. Как и для обычных двигателей, для повышения момента может быть использован понижающий редуктор. Однако для шаговых двигателей редуктор не всегда подходит. В отличие от коллекторных двигателей, у которых момент растет с увеличением скорости, шаговый двигатель имеет больший момент на низких скоростях. К тому же, шаговые двигатели имеют гораздо меньшую максимальную скорость по сравнению с коллекторными двигателями, что ограничивает максимальное передаточное число и, соответственно, увеличение момента с помощью редуктора. Готовые шаговые двигатели с редукторами, хотя и существуют, однако являются экзотикой. Еще одним фактом, ограничивающим применение редуктора, является присущий ему люфт. Коллекторный двигатель имеет более высокую удельную мощность, низкую стоимость, простую схему управления, и вместе с одноступенчатым червячным редуктором он способен обеспечить тот же диапазон скоростей, что и шаговый двигатель. К тому же, при этом обеспечивается значительно больший момент. Явнополюсный ротор шагового двигателя может быть активным или реактивным. Активный ротор шагового двигателя имеет обмотку возбуждения постоянного тока, контактные кольца и щетки или же выполняется в виде постоянного магнита с полюсами чередующейся полярности. Реактивный ротор выполняется без обмотки возбуждения с явно выраженными немагнитными полюсами. Число полюсов ротора в два раза меньше числа полюсов статора. Также отдельно можно выделить гибридные двигатели, являющиеся разновидностью двигателей с активным ротором (рис. 3.1).

Определить тип двигателя можно внешним осмотром. При вращении вала обесточенного двигателя с постоянными магнитами (или гибридного) чувствуется переменное сопротивление вращению, двигатель вращается как бы щелчками. Вал обесточенных двигателей с реактивным ротором и двигателей с обмотками возбуждения вращается свободно. У двигателя с реактивным ротором нет выводов обмотки возбуждения, но обычно они имеют три (реже четыре) обмотки с одним общим выводом. Двигатели с активным ротором могут

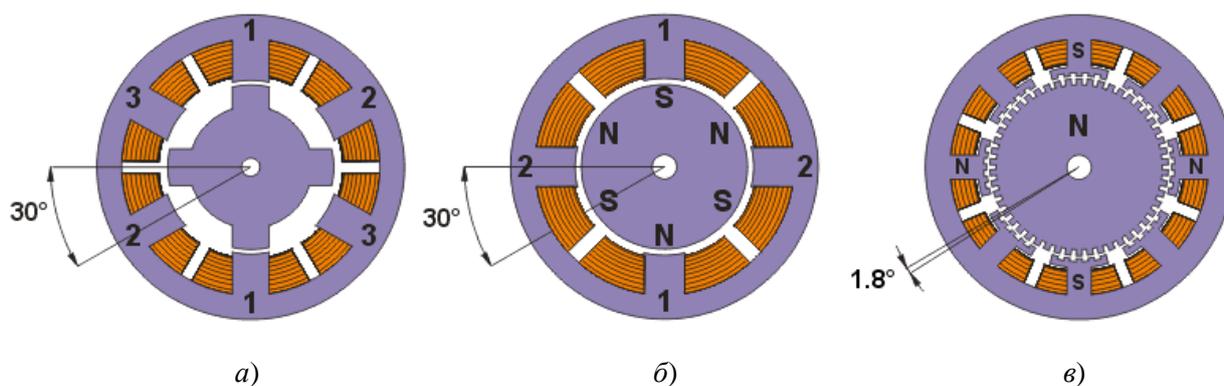


Рис. 3.1. Схемы шаговых электродвигателей различных типов:
а – с реактивным ротором; *б* – с активным ротором; *в* – гибридный

иметь обмотку возбуждения и чаще всего имеют две независимые обмотки статора. Эти обмотки могут быть снабжены отводом от середины. Иногда двигатели с активным ротором имеют 4 отдельных обмотки. Шаговые двигатели с реактивным ротором имеют несколько полюсов на статоре и ротор зубчатой формы магнитомягкого материала. Намагниченность ротора отсутствует. На рисунке 1.26, а ротор имеет 4 зубца, а статор имеет 6 полюсов. Двигатель имеет 3 независимые обмотки, каждая из которых намотана на двух противоположных полюсах статора. Такой двигатель имеет шаг 30° . При включении тока в одной из катушек ротор стремится занять положение, когда магнитный поток замкнут, т.е. зубцы ротора будут находиться напротив тех полюсов, на которых находится запитанная обмотка. Если затем выключить эту обмотку и включить следующую, то ротор поменяет положение, снова замкнув своими зубцами магнитный поток. Таким образом, чтобы осуществить непрерывное вращение, нужно включать фазы попеременно. Двигатель не чувствителен к направлению тока в обмотках. Реальный двигатель может иметь большее количество полюсов статора и большее количество зубцов ротора, что соответствует большему количеству шагов на оборот. Иногда поверхность каждого полюса статора выполняют зубчатой, что вместе с соответствующими зубцами ротора обеспечивает очень маленькие значения угла шага, порядка нескольких градусов. Двигатели с реактивным ротором довольно редко используют в промышленных применениях. Двигатели с активным ротором состоят из статора, который имеет обмотки, и ротора, содержащего постоянные магниты. Чередующиеся полюсы ротора имеют прямолинейную форму и расположены параллельно оси двигателя. Благодаря намагниченности ротора в таких двигателях обеспечивается большой магнитный поток и, как следствие, большой момент, чем у двигателей с реактивным ротором. Для удешевления конструкции двигателя магнитопровод статора выполнен в виде штампованного стакана. Внутри находятся полюсные наконечники в виде ламелей. Обмотки фаз размещены на двух разных магнитопроводах, которые установлены друг на друге. Ротор представляет собой цилиндрический многополюсный постоянный магнит (рис. 3.2).

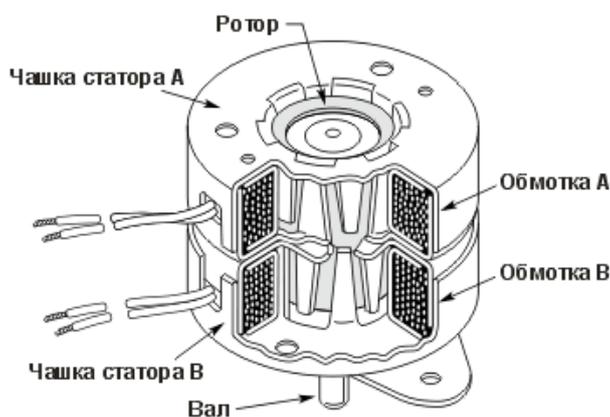


Рис. 3.2. Разрез шагового двигателя с постоянными магнитами

Двигатели с постоянными магнитами подвержены влиянию обратной ЭДС со стороны ротора, которая ограничивает максимальную скорость. Для работы на высоких скоростях используются двигатели с реактивным ротором. Гибридные двигатели являются дальнейшим усовершенствованием двигателей с постоянными магнитами, и по способу управления ничем от них не отличаются. Они дороже, чем двигатели с постоянными магнитами, но обеспечивают меньшую величину шага, больший момент, бóльшую скорость. Типичное число шагов на оборот для гибридных двигателей составляет от 100 до 400 (угол шага $3,6 \dots 0,9^\circ$). Гибридные двигатели сочетают в себе лучшие черты двигателей с реактивным ротором и двигателей с постоянными магнитами. Большинство современных шаговых двигателей являются гибридными. Ротор гибридного двигателя имеет зубцы и разделен на две части, между которыми расположен цилиндрический постоянный магнит. Таким образом, зубцы одной части ротора являются северными полюсами, а зубцы другой – южными. Верхняя и нижняя части ротора повернуты друг относительно друга по оси на половину угла шага зубцов. Число пар полюсов ротора равно количеству зубцов на одной из его половинок. Статор гибридного двигателя также имеет зубцы, обеспечивая большое количество эквивалентных полюсов, в отличие от основных полюсов, на которых расположены обмотки. Обычно используются 4 основных полюса для шага $3,6^\circ$ и 8 основных полюсов для шага $1,8 \dots 0,9^\circ$. Зубцы ротора обеспечивают меньшее сопротивление магнитной цепи в определенных положениях ротора, что улучшает статический и динамический момент. Это обеспечивается соответствующим расположением зубцов, когда часть зубцов ротора находится строго напротив зубцов статора, а часть – между ними. Ротор показанного на рис. 3.2, в двигателя имеет 100 полюсов (50 пар), двигатель имеет 2 фазы, поэтому полное количество полюсов – 200, а шаг $1,8^\circ$. Продольный разрез гибридного шагового двигателя показан на рис. 2. Стрелками показано направление магнитного потока постоянного магнита ротора. Часть потока (на рисунке показана сплошной черной линией) проходит через полюсные наконечники ротора, воздушные зазоры и полюсный наконечник статора. Эта часть не участвует в создании момента (рис. 3.3).

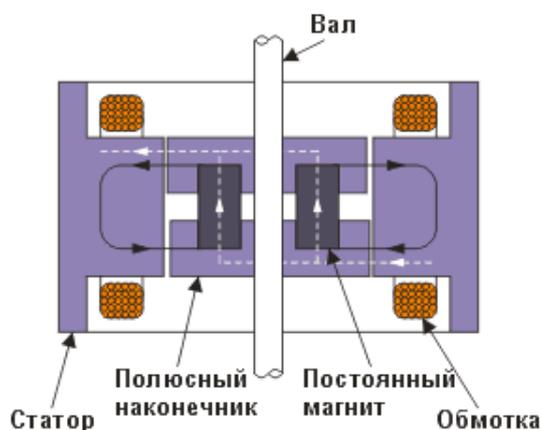


Рис. 3.3. Продольный разрез гибридного шагового двигателя

Воздушные зазоры у верхнего и нижнего полюсного наконечника ротора разные. Это достигается благодаря повороту полюсных наконечников на половину шага зубьев. Существует вторая магнитная цепь, которая обладает минимальными воздушными зазорами и минимальным магнитным сопротивлением. По этой цепи замыкается другая часть потока (на рисунке показана штриховой белой линией), которая и создает момент. Таким же образом создают магнитный поток катушки статора. Величина зазора между зубцами ротора и статора очень небольшая – типично 0,1 мм, что требует высокой точности при сборке. Чтобы магнитный поток не замыкался через вал, который проходит внутри магнита, его иногда изготавливают из немагнитных марок стали [3]. Для получения больших моментов необходимо увеличивать как поле, создаваемое статором, так и поле постоянного магнита. При этом требуется больший диаметр ротора, что уменьшает отношение крутящего момента к моменту инерции. Поэтому мощные шаговые двигатели иногда конструктивно выполняют из нескольких секций в виде этажерки. Крутящий момент и момент инерции увеличиваются пропорционально количеству секций, а их отношение не уменьшается. Существуют и другие конструкции шаговых двигателей. Например, двигатели с дисковым намагниченным ротором. Такие двигатели имеют малый момент инерции ротора, что в ряде случаев важно. В зависимости от конфигурации обмоток шаговые двигатели делятся на биполярные и униполярные. Биполярный двигатель имеет одну обмотку в каждой фазе, полярность включения которой необходимо изменять для изменения направления магнитного поля. Для обмоток такого типа двигателя требуется мостовая схема включения. Биполярный двигатель имеет две обмотки и четыре вывода (рис. 3.4).

Униполярный двигатель также имеет одну обмотку в каждой фазе, но от середины обмотки сделан отвод (рис. 3.4, б). Это позволяет изменять направление магнитного поля, создаваемого обмоткой, переключением половинок обмотки. При этом существенно упрощается схема включения двигателя. Концы A , B , C и D обмоток подключаются к выходам транзисторных ключей, соединяющих их, например, с минусом источника питания, а средние точки AB и CD соединяются вместе и подключаются к противоположному полюсу (плюсу).

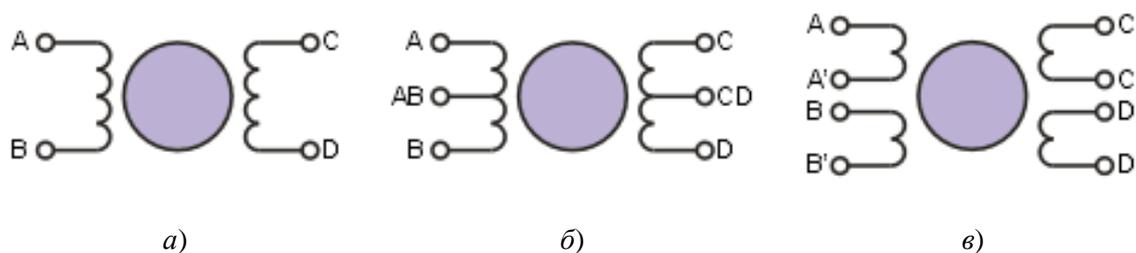


Рис. 3.4. Обмотки шаговых двигателей:

a – биполярного; $б$ – униполярного; $в$ – четырехобмоточного

Средние точки обмоток могут быть объединены внутри двигателя, поэтому такой двигатель может иметь 5 или 6 выводов. Иногда униполярные двигатели имеют отдельные 4 обмотки, по этой причине их ошибочно называют четырехфазными двигателями. Каждая обмотка имеет отдельные выводы, поэтому всего выводов 8. При соответствующем соединении обмоток такой двигатель можно использовать как униполярный или как биполярный. Униполярный двигатель с двумя обмотками и отводами также можно использовать в биполярном режиме, если отводы оставить неподключенными. В любом случае ток обмоток следует выбирать так, чтобы не превысить максимальной рассеиваемой мощности. Если сравнивать между собой биполярный и униполярный двигатели, то биполярный имеет более высокую удельную мощность. При одних и тех же размерах биполярные двигатели обеспечивают больший момент. Момент, создаваемый шаговым двигателем, пропорционален величине магнитного поля, создаваемого обмотками статора. Путь для повышения магнитного поля – это увеличение тока или числа витков обмоток. Естественным ограничением при повышении тока обмоток является опасность насыщения железного сердечника. Однако на практике это ограничение действует редко. Гораздо более существенным является ограничение по нагреву двигателя вследствие активных потерь в обмотках. Как раз этот факт и демонстрирует одно из преимуществ биполярных двигателей. В униполярном двигателе в каждый момент времени используется лишь половина обмоток. Другая половина просто занимает место в окне сердечника, что вынуждает делать обмотки проводом меньшего диаметра. В то же время в биполярном двигателе всегда работают все обмотки, т.е. их использование оптимально. В таком двигателе сечение отдельных обмоток вдвое больше, а сопротивление – соответственно вдвое меньше. Это позволяет увеличить ток в 1,41 раза при тех же потерях, что дает выигрыш в моменте примерно 40%. Если же повышенного момента не требуется, биполярный двигатель позволяет уменьшить габариты или просто работать с меньшими потерями. На практике все же часто применяют униполярные двигатели, так как они требуют значительно более простых схем управления обмотками. Это важно, если они выполнены на дискретных компонентах. В настоящее время существуют специализированные микросхемы драйверов для биполярных двигателей, с использованием которых драйвер получается не сложнее, чем для униполярного двигателя.

Существует несколько способов управления шаговыми двигателями:

- одношаговый полношаговый с включением одной фазы («onephase on» full step или wave drive mode);
- полношаговый полношаговый с включением двух фаз («two-phaseon» full step или просто full step mode);
- полушаговый («one and two-phase-on» half step или просто half step mode);
- микрошаговый (micro stepping mode).

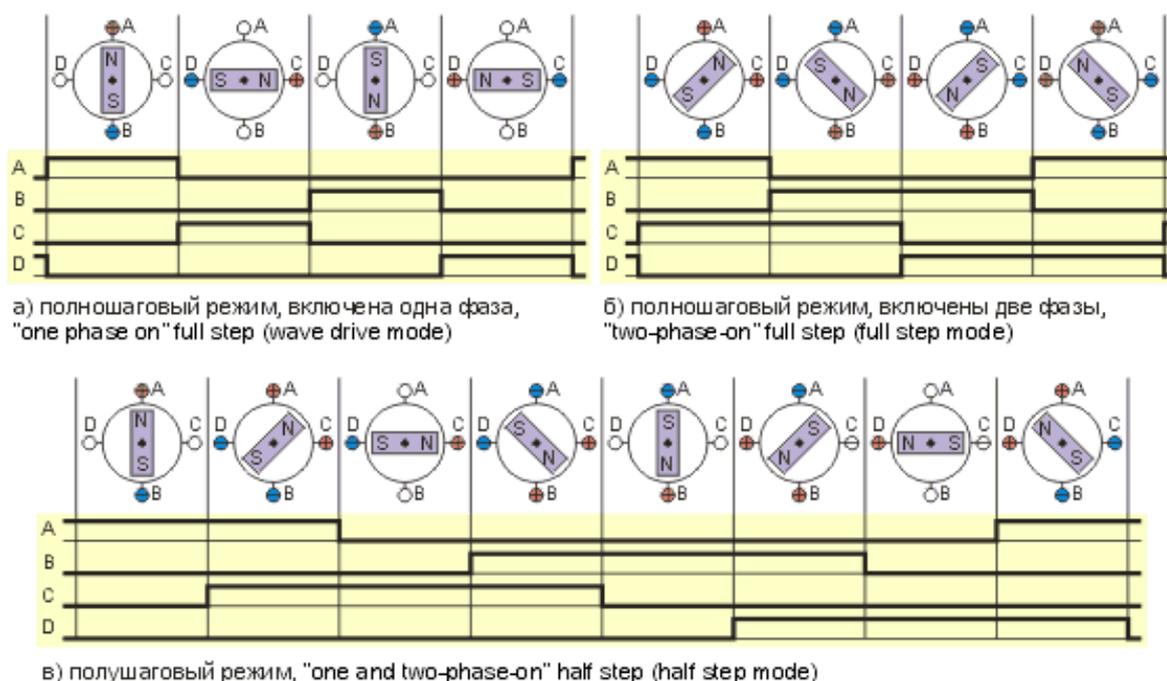


Рис. 3.5. Временные диаграммы управления шаговым двигателем различными способами

На рисунке 3.5 представлены временные диаграммы работы шагового двигателя в различных режимах. Все способы управления могут быть реализованы как на биполярном, так и на униполярном двигателях. Графики показывают динамику подачи управляющих импульсов на обмотки униполярного двигателя, рисунки – соответствующие полярности подключения обмоток биполярного двигателя и положения ротора.

Первый способ обеспечивается попеременной коммутацией фаз, при этом они не перекрываются, в один момент времени включена только одна фаза. Точки равновесия ротора для каждого шага совпадают с «естественными» точками равновесия ротора у неподключенного двигателя. Недостатком этого способа управления является то, что для биполярного двигателя в один и тот же момент времени используется 50% обмоток, а для униполярного – только 25%. Это означает, что в таком режиме не может быть получен полный момент. Второй способ – управление фазами с перекрытием: две фазы включены в одно и то же время. При этом способе управления ротор фиксируется в промежуточных позициях между полюсами статора и обеспечивается примерно на 40% больший момент, чем в случае одной включенной фазы. Этот способ управления обеспечивает такой же угол шага, как и первый способ, но положение точек равновесия ротора смещено на полшага относительно «естественных» точек. Третий способ является комбинацией первых двух и называется полушаговым режимом, так как двигатель делает шаг в половину основного. Этот метод управления достаточно распространен, так как двигатель с меньшим шагом стоит дороже и очень заманчиво получить от 100-шагового двигателя 200 шагов на оборот. Каждый второй

шаг запитана лишь одна фаза, а в остальных случаях запитаны две. В результате угловое перемещение ротора составляет половину угла шага для первых двух способов управления. Кроме уменьшения размера шага, этот способ управления позволяет частично избавиться от явления резонанса. Полушаговый режим обычно не позволяет получить полный момент, хотя наиболее совершенные драйверы реализуют модифицированный полушаговый режим, в котором двигатель обеспечивает практически полный момент, при этом рассеиваемая мощность не превышает номинальной. В микрошаговом режиме ток в фазах меняют небольшими шагами, обеспечивая дробление половинного шага на еще меньшие микрошаги. Когда одновременно включены две фазы, но их токи не равны, то положение равновесия ротора будет лежать не в середине шага, а в другом месте, определяемом соотношением токов фаз. Меняя это соотношение, можно обеспечить некоторое количество микрошагов внутри одного шага. Кроме увеличения точности позиционирования, микрошаговый режим имеет и другие преимущества: снижение шума и вибрации, обеспечение плавности хода. Вместе с тем, для реализации микрошагового режима требуются значительно более сложные драйверы, позволяющие задавать ток в обмотках с необходимой дискретностью. Полушаговый режим является частным случаем микрошагового режима, но он не требует формирования ступенчатого тока питания катушек, поэтому часто реализуется. Микрошаговый режим по сути является управлением шаговым двигателем в режиме синхронного. Именно этот режим используют в синхронных сервоприводах. Драйвер двигателя питается от постоянного тока, из которого широтно-импульсной модуляцией получают переменный ток заданной частоты, в полношаговом режиме с двумя включенными фазами, положения точек равновесия ротора смещены на полшага. Нужно отметить, что эти положения ротор принимает при работе двигателя, но положение ротора не может сохраняться неизменным после выключения тока обмоток. Поэтому при включении и выключении питания двигателя ротор будет смещаться на полшага. Для того чтобы он не смещался при остановке, необходимо подавать в обмотки ток удержания. То же справедливо для полушагового и микрошагового режимов. Следует отметить, что если в выключенном состоянии ротор двигателя поворачивался, то при включении питания возможно смещение ротора бóльшую, чем половина шага, величину. Ток удержания может быть меньше номинального, так как от двигателя с неподвижным ротором обычно не требуется большого момента. Однако есть применения, когда в остановленном состоянии двигатель должен обеспечивать полный момент, что для шагового двигателя возможно. Это свойство шагового двигателя позволяет в таких ситуациях обходиться без механических тормозных систем. Поскольку современные драйверы позволяют регулировать ток питания обмоток двигателя, задание необходимого тока удержания обычно не представляет проблем. Задача обычно заключается просто в соответствующей программной поддержке для управляющего микроконтроллера.

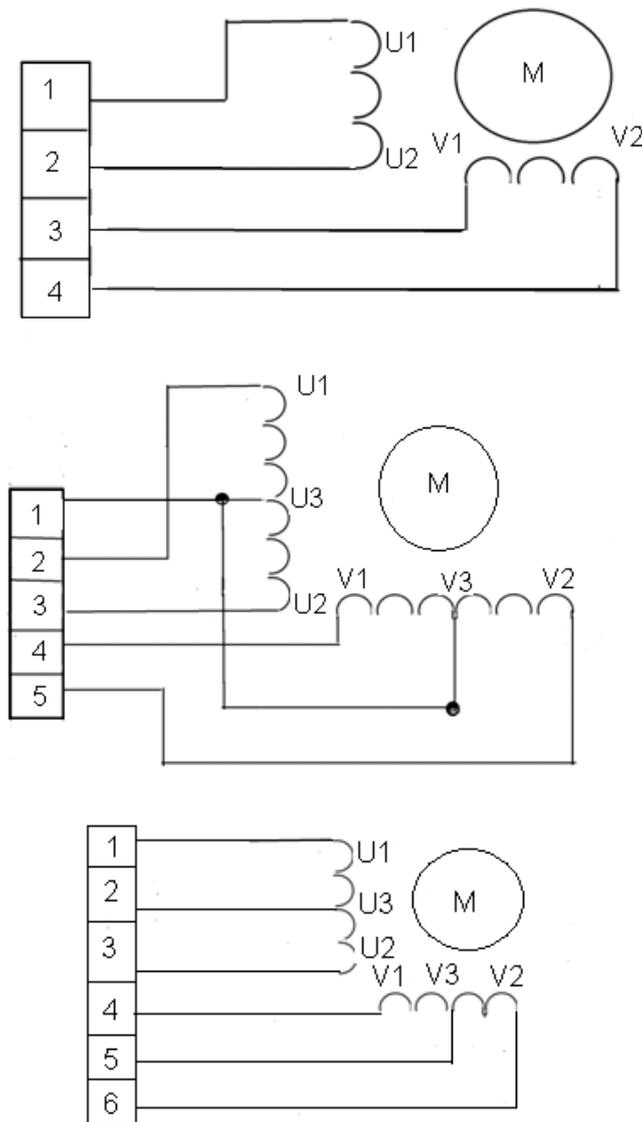


Рис. 3.6. Схемы включения обмоток статора шаговых двигателей

Лабораторная работа 3

ИЗУЧЕНИЕ ШАГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Цель работы: целью работы является освоение студентами принципов построения и функционирования управляемого электропривода на базе шагового электродвигателя.

Задание.

1. Ознакомиться с конструкцией и принципом работы шагового двигателя.
2. Освоить принципы регулирования угловой скорости станда.
3. Изучить характеристики двигателя при различных способах коммутации обмоток (шаговый, волновой, полушаговый, комбинированный).
4. Проанализировать полученные результаты, сделать выводы.

Порядок выполнения работы

Перед работой со стендом необходимо ознакомиться с теоретическим материалом данных методических указаний, а также источников, приведенных ниже, также необходимо изучить логику работы и схему стенда на основании материалов данной лабораторной работы, а также описания компонентов, использованных для реализации стенда. В рамках данного раздела необходимо выполнить следующее.

1. Подать питание на стенд.
2. Увеличить частоту коммутации обмоток.
3. Уменьшить частоту коммутации обмоток.
4. Выполнить пункты 2 и 3 для всех режимов коммутации обмоток.
5. Оформить отчет о лабораторной работе.

Контрольные вопросы

1. Чем отличается шаговый двигатель от синхронного?
2. Какие разновидности шаговых двигателей вы знаете?
3. Принцип работы шагового двигателя?
4. Сколько обмоток содержит шаговый двигатель?
5. Для чего применяют униполярные обмотки?
6. Какие режимы работы шаговых двигателей вы знаете?
7. Поясните принцип управления шаговым двигателем в микрошаговом режиме?
8. Какие достоинства у шагового двигателя?
9. Чем определяется число шагов?
10. На чем основан расчет драйверного каскада?
11. Зачем нужны в драйверном каскаде диоды?
12. Поясните расчет схемы драйверного каскада?
13. Сколько импульсов нужно подать на обмотки шагового двигателя для поворота на 1 шаг, 1 оборот?

4. ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

4.1. ПУСКОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Основными характеристиками пуска трехфазных асинхронных двигателей являются величина пускового момента и величина пускового тока.

Ротор двигателя придет во вращение и достигнет номинальной частоты вращения, если развиваемый двигателем пусковой момент будет больше момента сопротивления на валу, создаваемого приводимым механизмом. При пуске ряда механизмов (шаровых мельниц, компрессоров и т.д.) требуется значительный пусковой момент, равный номинальному или превышающий его. Пусковой ток необходимо ограничить значением, не опасным для нормального режима работы сети, механической и термической прочности основных элементов двигателя. Схема пуска должна быть по возможности простой, а число и стоимость пусковых устройств минимальными.

Асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором проще по устройству и обслуживанию, дешевле и надежнее в работе, чем двигатели с фазным ротором. Поэтому большинство находящихся в эксплуатации асинхронных двигателей являются двигателями с короткозамкнутым ротором.

Наиболее простым способом пуска двигателя с короткозамкнутым ротором является включение обмотки его статора непосредственно в сеть, на номинальное напряжение обмотки статора. Такой способ пуска называют прямым пуском.

Двигатели обычно пускают с помощью контактора K (рис. 4.1, *а*) и разгоняются автоматически по естественной механической характеристике I (рис. 4.1, *б*) от точки Π , соответствующей начальному пусковому моменту, до точки P (пересечения механических характеристик I двигателя и приводимого им механизма 2), соответствующей условию $M = M_c$.

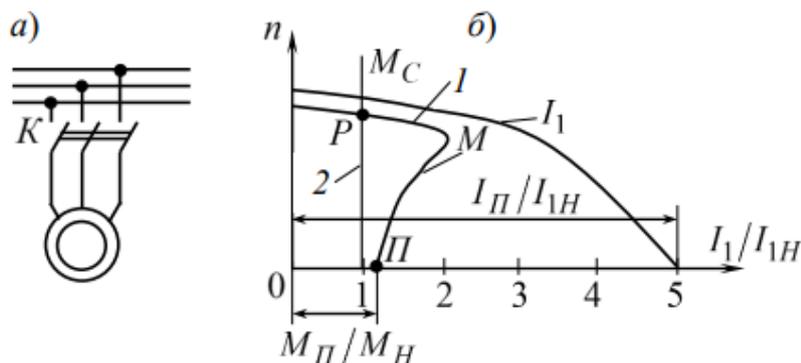


Рис. 4.1. Схема прямого пуска (*а*) и пусковые характеристики (*б*)

Ускорение при разгоне, согласно уравнению моментов $d/\Omega dt = (M - M_C)/J$, определяется величиной динамического момента, т.е. разностью абсцисс кривых M и M_C и результирующим моментом инерции J вращающихся масс двигателя и приведенного к его валу механизма, который приводится во вращение. Если в начальный момент пуска $<M_C$, двигатель разогнаться не сможет.

При пуске асинхронного двигателя на холостом ходу в активном сопротивлении его вторичной цепи выделяется тепловая энергия, равная кинетической энергии приводимых во вращение маховых масс, при пуске под нагрузкой количество выделяемой энергии соответственно увеличивается. Выделение энергии в первичной цепи обычно несколько больше, чем во вторичной. При пуске под нагрузкой увеличиваются время разгона двигателя и температура его обмоток.

При частых пусках, а также при весьма тяжелых условиях пуска, когда маховые массы приводимых в движение механизмов велики, возникает опасность перегрева обмоток двигателя. Число пусков асинхронного двигателя в час, допустимое по условиям его нагрева, тем больше, чем меньше его мощность и маховые массы, соединенные с его валом.

Двигатели мощностью 3...10 кВт в обычных условиях допускают до 5 – 10 включений в час.

Пусковой ток двигателя при сравнительно небольшом $(0,9...1,3)M_n$ пусковом моменте составляет $I_n = (4...7)I_n$ номинального тока. Объясняется это следующим. При неподвижном роторе наводимая в его обмотке ЭДС максимальна, так как максимальна скорость изменения магнитного потока относительно неподвижных проводников обмотки ротора:

$$e_2 = -w_2 \frac{d\Phi_0}{dt}.$$

Велико и значение тока в роторной обмотке:

$$I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{r_2^2 + x_2^2}}.$$

Создаваемый при этом магнитный поток Φ_2 достаточно велик, велик и компенсирующий его магнитный поток Φ_1 , создаваемый реактивной составляющей тока статора I_{1p} , существенно превышающей активную составляющую тока, определяющую величину момента [4].

При разгоне ротора величина ЭДС уменьшается при уменьшении скольжения, что приводит к уменьшению тока ротора и прежде всего его реактивной составляющей.

Таким образом, недостатком данного способа пуска является сравнительно небольшой пусковой момент при значительном броске пускового тока. В электрических сетях срав-

нительно небольшой мощности такой бросок тока может вызвать значительное понижение напряжения, не желательное для других потребителей.

Современные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором проектируют с таким расчетом, чтобы они по значению возникающих электродинамических усилий, действующих на обмотки, и по условиям нагрева обмоток допускали прямой пуск.

Величину пусковых токов можно уменьшить за счет изменения конструкции роторных обмоток, включения в сеть ротора добавочных сопротивлений, снижения напряжения питающей сети. Первые два способа, уменьшая пусковые токи, сохраняют достаточно высокие значения пусковых моментов. Применение третьего способа неизбежно приводит к уменьшению пускового и критического моментов, зависящих от второй степени питающего напряжения.

Если по условиям падения напряжения в сети прямой пуск двигателя с короткозамкнутым ротором невозможен, применяют различные способы пуска при пониженном напряжении. Пуск при пониженном напряжении применяют для высоковольтных двигателей большой мощности при их пуске на холостом ходу или при незначительной нагрузке.

Реакторный пуск осуществляют по схеме рис. 4.2, а. С помощью контактов контактора К1 двигатель получает питание через трехфазный реактор (реактивную или индуктивную катушку) P . На сопротивлении реактора создается падение напряжения, вследствие чего к обмотке статора будет приложено пониженное напряжение:

$$\Delta U = x_p I_n ;$$

$$U = U_c - \Delta U_p .$$

По мере разгона двигателя снижается ЭДС, индуцированная в обмотке ротора, и пусковой ток. В результате этого уменьшается падение напряжения ΔU_p , а напряжение, приложенное к обмотке статора двигателя, автоматически возрастает по мере разгона двигателя. Иногда в цепь статора включают активное сопротивление.

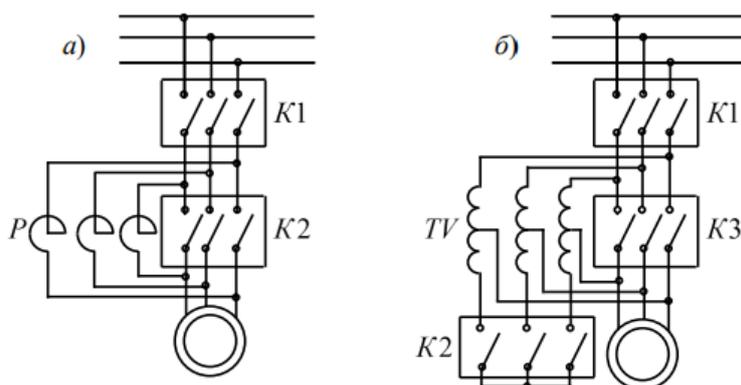


Рис. 4.2. Схемы пуска асинхронных двигателей при пониженном напряжении

По достижении нормальной частоты вращения замыкается контактор К2, шунтирующий реактор, в результате чего на двигатель подается полное напряжение сети.

При реакторном пуске, для уменьшения пускового тока в k раз:

$$k = \frac{I_{\text{п}}}{I_{\text{р}}} = \frac{U_{\text{с}}}{U_{\text{р}}}$$

необходимо снизить напряжение тоже в k раз. При этом пусковой момент

$$M_{\text{п}} = cU^2 = c\left(\frac{U_{\text{н}}}{k}\right)^2 = \frac{M_{\text{пн}}}{k^2}$$

уменьшается в k^2 раз. $M_{\text{пн}}$ пусковой момент при номинальном напряжении сети. Значительное снижение пускового момента является недостатком реакторного пуска.

Автотрансформаторный пуск. Нередко в сетях и установках высокого напряжения, а также в устройствах проводной связи и автоматики возникает необходимость сравнительно небольшого изменения напряжения, например, на 10...50%. Использование в этих случаях обычных двухобмоточных трансформаторов не обеспечивает экономического решения задачи. Более рационально она может быть решена путем использования двухобмоточных трансформаторов, включаемых по особой схеме, получивших название автотрансформаторов (рис. 4.3).

Автотрансформаторный пуск осуществляют подключением двигателя к сети (рис. 4.2, б) через понижающий автотрансформатор TV в следующем порядке. Сначала замыкаются контакты контакторов К1 и К2 и на двигатель подается пониженное напряжение. После достижения двигателем определенной частоты вращения контактор К2 отключается, и двигатель получает питание через часть обмотки автотрансформатора TV, который в этом случае работает как реактор. Затем срабатывает контактор К3, в результате чего на обмотки статора двигателя подается напряжение сети. Пусковые автотрансформаторы рассчитывают на кратковременную работу, что позволяет уменьшить их массу и габариты, с несколькими ответвлениями на различные величины вторичного напряжения.

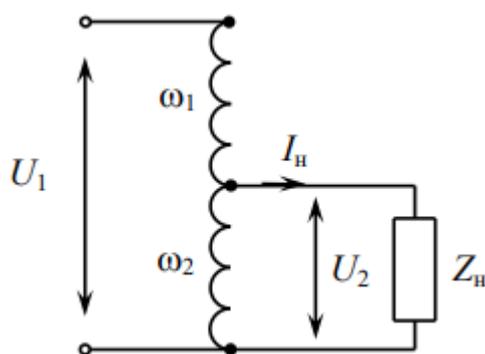


Рис. 4.3. Схема автотрансформатора

Используя схему пуска рис. 4.2, б и принимая КПД автотрансформатора за единицу, получают следующее выражение:

$$U_c I_c = U_{дв} I_{дв},$$

откуда

$$\frac{U_c}{U_{дв}} = \frac{I_{дв}}{I_c} = k_T,$$

где $U_c, U_{дв}$ – соответственно напряжение сети и напряжение на обмотках двигателя, В; $I_c, I_{дв}$ – соответственно ток в сети и двигателя, А; k_T – коэффициент трансформации.

Ток в сети:

$$I_c = \frac{I_{дв}}{k_T} = \frac{U_{дв}}{z_{дв} k_T} = \frac{I}{k_T^2} \frac{U_c}{z_{дв}} = \frac{I_{двП}}{k^2}.$$

Отсюда коэффициент трансформации, обеспечивающий заданное отношение пускового тока двигателя при номинальном напряжении к допустимому току в сети

$$k_T = \sqrt{\frac{I_{двП}}{I_c}}.$$

Пусковой момент двигателя

$$M_{п} = c U_c^2 = c \left(\frac{U_{дв}}{k_T} \right)^2 = \frac{M_{двП}}{\left(\sqrt{\frac{I_{двП}}{I_c}} \right)^2} = \frac{M_{двП}}{k_T^2}$$

также уменьшается k_T^2 раз. В отличие от реакторного пуска, пусковой ток и начальный пусковой момент уменьшаются в одинаковое число раз. Поэтому АД развивает такой же пусковой момент, но при меньшем пусковом токе. Однако это преимущество автотрансформаторного пуска достигается за счет значительного усложнения и удорожания пусковой аппаратуры.

Пуск двигателей переключением «звезда треугольник» возможен в двигателях (при выведенных всех шести концах обмотки статора), предназначенных работать по схеме соединения обмоток статора в «треугольник» и приводящих в ход механизмы с малыми пусковыми моментами. У таких двигателей на шильдике должно быть указано «Δ/У 380/660 В», либо «Δ/У 220/380 В».

Если на период пуска обмотку статора переключить на схему «звезда», а питающее напряжение оставить тем же, что и при схеме «треугольник», то напряжение на фазу уменьшится:

$$U_{\Phi} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}}.$$

Ток в фазах равен линейному:

$$I_{\Phi} = I_{\text{л}} = \frac{U_{\Phi}}{Z_{\text{с}}},$$

т.е. также уменьшится в $\sqrt{3}$ раз.

После разгона двигателя происходит подключение обмотки статора по схеме «треугольник» и соотношение токов и напряжений будет следующим:

$$U_{\Phi} = U_{\text{л}} = 380 \text{ В};$$

$$I_{\Phi} = \frac{U_{\Phi}}{Z_{\text{с}}};$$

$$I_{\text{л}} = \sqrt{3} I_{\Phi}.$$

Линейный ток при соединении «треугольником» больше в 3 раза линейного тока при соединении звездой.

Данный способ запуска асинхронного двигателя применяется в тех случаях, когда присутствует небольшая нагрузка, либо, когда двигатель работает на холостом ходу. Это связано с тем, что при уменьшении фазного напряжения в 1,73 раза, согласно выражению для пускового момента, момент уменьшается в три раза, а этого недостаточно, чтобы совершить пуск с нагрузкой на валу:

$$M_{\text{п}} = \frac{m U_{\Phi}^2 R'_2}{\omega_0 \left((R_1 + R'_2)^2 + (X_1 + X'_2)^2 \right)},$$

где m – число фаз статора; U_{Φ}^2 – фазное напряжение обмотки статора, В; R_1, R_2, X_1, X_2 – параметры схемы замещения асинхронного двигателя.

Работа двигателей в схеме «звезда» выгодна для нагрузок, не превышающих 4050% от номинальной при этом КПД и коэффициент мощности заметно повышаются. Схема пуска переключением «звезда треугольник» приведена на рис. 4.4. В момент переключения обмотку статора на короткое время отсоединяют от сети, а затем снова присоединяют к ней.

Это приводит к появлению свободных составляющих магнитного потока, сопровождающихся значительными всплесками тока, превышающими номинальное значение.

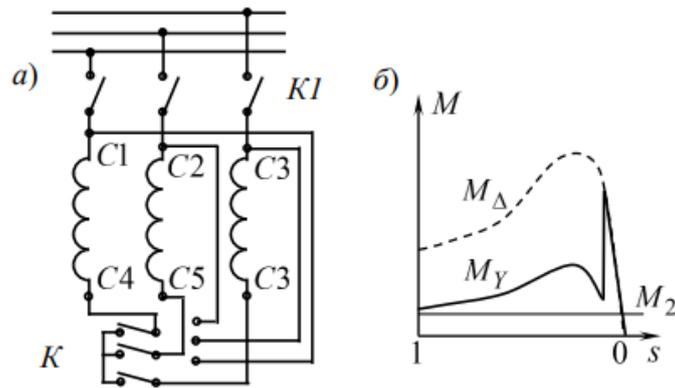


Рис. 4.4. Схема пуска двигателя переключением со «звезды» на «треугольник»

Двигатели с фазным ротором применяются значительно реже, чем двигатели с короткозамкнутым ротором. Их использование обосновано в следующих случаях:

– когда двигатели с короткозамкнутым ротором неприемлемы по условиям регулирования частоты вращения [5];

– когда статический момент сопротивления на валу при пуске МС велик, и поэтому асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором с пуском при пониженном напряжении неприемлем, а прямой пуск такого двигателя недопустим по условиям воздействия больших пусковых токов на сеть;

– когда приводимые в движение массы настолько велики, что выделяемая во вторичной цепи двигателя тепловая энергия вызывает недопустимый нагрев короткозамкнутой обмотки ротора.

Включение в цепь фазного ротора добавочного активного сопротивления не только снижает пусковые токи, но и увеличивает пусковой момент. Первое непосредственно вытекает из уравнения пускового тока (по Г-образной схеме замещения).

$$I'_{2п} = \frac{U_{\phi}}{\sqrt{(R_1 + R'_2 + \sum R_{доб})^2 + (X_1 + X'_2)^2}},$$

второе по мере увеличения активного сопротивления роторной цепи максимум кривой $s f(M)$ перемещается в сторону больших значений скольжения, сохраняя неизменной величину.

Схема пуска с введением в цепь ротора добавочного сопротивления (реостата) представлена на рис. 4.5, а, а переходные процессы тока и частоты вращения – на рис. 4.5, б.

С добавочным сопротивлением ротор двигателя разгоняется под действием момента, изменяющегося по кривой 4, показанной на рис. 4.6.

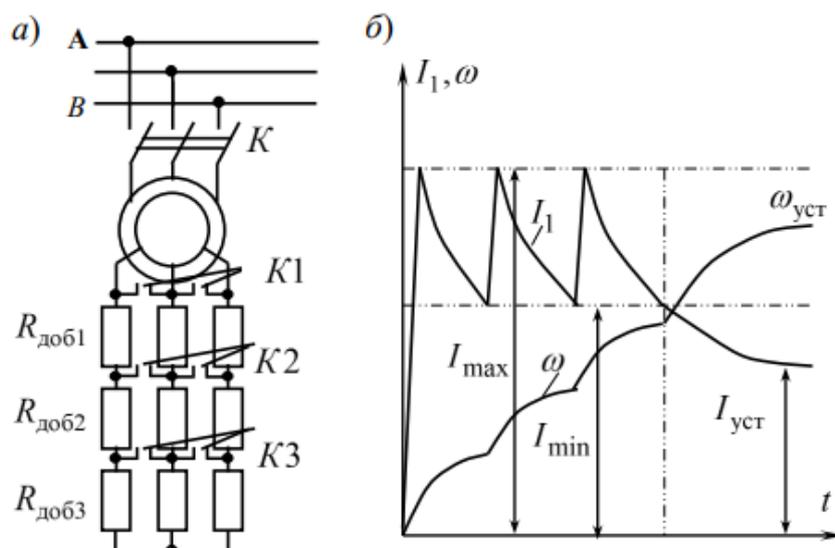


Рис. 4.5. Реостатный пуск асинхронного двигателя с фазным ротором (а), переходные процессы частоты вращения и тока (б)

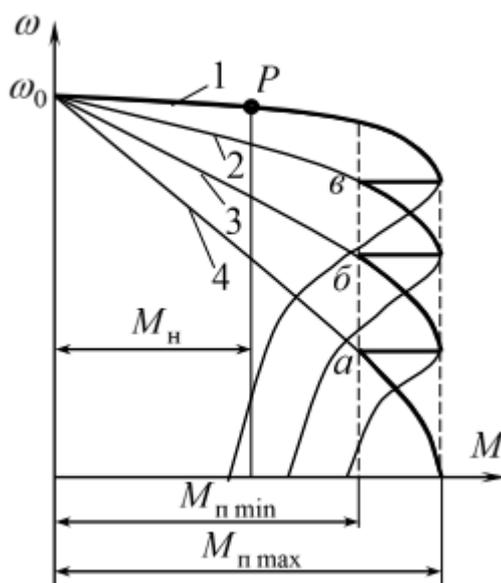


Рис. 4.6. Пусковая диаграмма асинхронного двигателя с фазным ротором

По мере увеличения частоты вращения вращающий момент M уменьшается и может стать меньше некоторого момента $M_{п\min}$. Поэтому при достижении двигателем момента $M_{п\min}$, соответствующего точке а кривой 4, часть сопротивления пускового реостата выводят, замыкая контактор К3, что приводит к увеличению тока статорной обмотки (рис. 4.5, б). Вращающий момент при этом мгновенно возрастает $M_{п\max}$, а затем при увеличении частоты вращения изменяется по характеристике 3, соответствующей сопротивлению реостата $R_{п2} = R_{доб1} + R_{доб2}$. При разгоне до точки б, соответствующей тому же

моменту $M_{п\min}$. Далее выводят вторую ступень сопротивления реостата, и двигатель переходит работать на характеристику 2, соответствующую $R_{п1} = R_{доб1}$.

Таким образом, при постепенном (ступенчатом) уменьшении пускового сопротивления пусковой момент изменяется $M_{п\max} M_{п\min}$, а частота вращения возрастает по ломаной кривой, показанной на рис. 4.5, б или рис. 4.6. В конце пуска пусковой реостат полностью выводят контактором К1, обмотка ротора замыкается накоротко, и двигатель переходит на работу по естественной характеристике 1, разгоняясь до частоты вращения, соответствующей моменту нагрузки на валу двигателя (точка P). Ток статорной обмотки и частота вращения достигают установившихся значений (рис. 4.5, б), соответствующих моменту на валу двигателя [6].

Таким образом, включив реостат в цепь ротора, можно осуществить пуск двигателя $M_{п} = M_{\max}$ и резко уменьшить пусковой ток.

В ряде случаев при пуске двигателей с фазным ротором в цепь ротора последовательно или параллельно включают индуктивное сопротивление (реактор). Он выполняет роль автоматического регулятора тока ротора. В начальный момент пуска, когда частота тока в роторе $f_2 = f_1$, индуктивное сопротивление реактора велико и ограничивает величину пускового тока. По мере разгона ротора уменьшается его ЭДС, но одновременно уменьшаются частота E'_2 и результирующее индуктивное сопротивление цепи ротора, в результате чего ток ротора уменьшается медленнее, чем при включении пускового реостата без реактора. При уменьшении индуктивного сопротивления реактора возрастает $X'_2 \cos\varphi$. Электромагнитный момент при этих условиях также изменяется медленнее, и в начале разгона его значение может быть выше, чем без реактора.

4.2. ЧАСТОТНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Данный способ известен давно и в настоящее время является основным. Как правило, он используется для управления асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором. Для его осуществления требуется источник электрического тока переменной частоты, в качестве которого могут быть использованы, например, преобразователи частоты или синхронный генератор переменного тока с переменной скоростью вращения. В настоящее время существует множество видов частотных преобразователей для регулирования скорости вращения ротора асинхронного электродвигателя. На рисунке 4.7 представлен внешний вид современного частотного преобразователя.



Рис. 4.7. Общий вид частотного преобразователя Hyundai N700E 004HF 0,4 кВт, 380 В

Как правило, современные частотные преобразователи имеют множество функций, основные из которых следующие: автоматическая настройка, установка вольточастотных характеристик, выбор кривой характеристик разгона/замедления, ограничение верхнего/нижнего пределов частоты, шестиуровневый многоскоростной режим, настройка стартовой частоты, настройка несущей частоты (0,5...16 кГц), П-, ПИ- и ПИД-регулирование скорости вращения, ротора двигателя, настройка электронной тепловой защиты, попытка повторного пуска, автоматический подъем момента, отображение архива аварийных отключений, блокировка программы, отображение преобразования частоты, защита от непреднамеренного пуска.

На рисунке 4.8 показана блок-схема силовой части преобразователя (инвертора) с промежуточным звеном постоянного тока.

Выпрямитель состоит из неуправляемой одно- или трехфазной мостовой схемы. Однофазный выпрямитель используется только для двигателей низких мощностей.

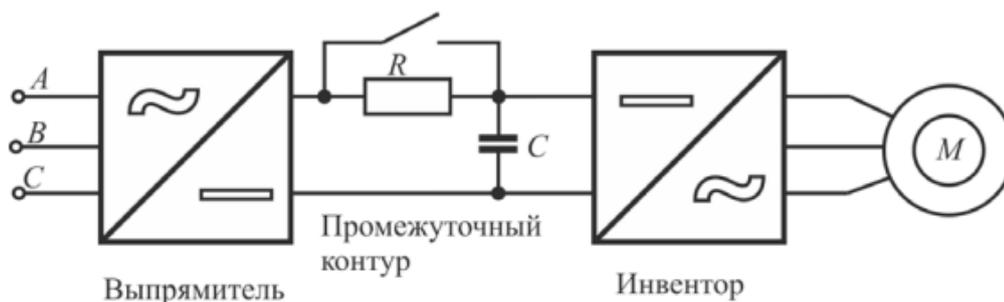


Рис. 4.8. Блок-схема силовой части частотного преобразователя

Выпрямитель преобразует переменное напряжение сети в постоянное напряжение. Далее оно сглаживается в промежуточном контуре конденсаторным фильтром. При заряде конденсатора может протекать очень большой кратковременный ток, что создает опасность вывода из строя входного предохранителя или диодов выпрямителя. Для предотвращения негативных последствий чрезмерно большой силы зарядного тока включается балластный резистор R. После заряда конденсатора резистор шунтируется контактным реле (или другим способом). Конденсатор имеет большую емкость, необходимую для сглаживания напряжения на выходе выпрямителя. После выключения инвертора из сети конденсатор сохраняет рабочее напряжение в течение определенного периода времени. Это отображается зарядным светодиодом. Для преобразования постоянного тока в переменный на выходе устанавливается инвертор. Для этого используются транзисторы, которые работают в переключающем режиме. В конце прошлого века наиболее часто применялись биполярные транзисторы с малыми частотами переключения (до 2 кГц). Сегодня используются полевые транзисторы с низкими потерями, а также IGBT-транзисторы (от англ. Insulated-gate bipolar transistor), трехэлектродные силовые электронные приборы, используемые, в основном, как мощные электронные ключи в импульсных источниках питания, инверторах, в системах управления электрическими приводами). Эти транзисторы обеспечивают частоты переключения до 16 кГц и очень низкий уровень шума.

Как видно из рис. 4.9, ток через обмотку двигателя может протекать только тогда, когда, по меньшей мере, один из верхних (T1, T3 и T5) и один из нижних транзисторов (T4, and T2) включены.

Одновременно включены три транзистора. Диаграмма их включения показана на рис. 1.40. Как видно из диаграммы, инвертор восстанавливает в обмотках статора двигателя сдвиг по фазе между токами, равный 120° , соответствующий симметричной трехфазной сети.

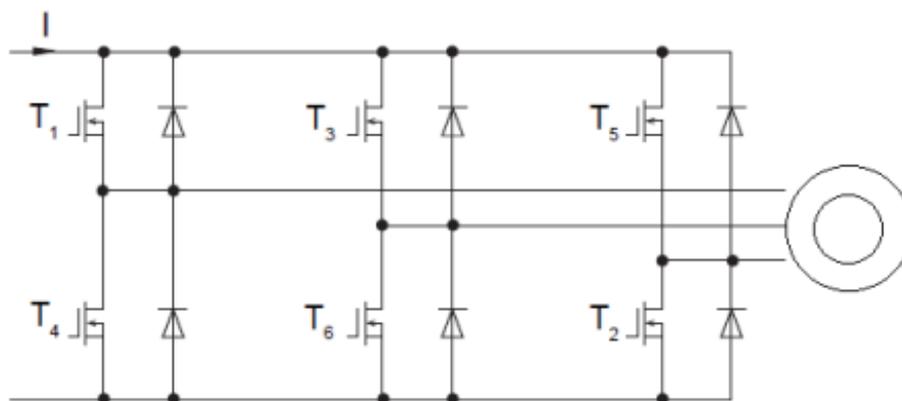


Рис. 4.9. Принципиальная схема инвертора

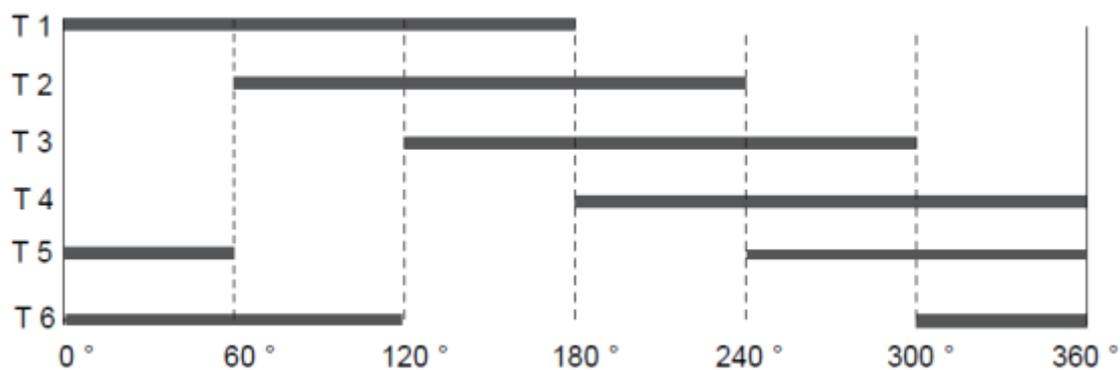


Рис. 4.10. Диаграмма открывания транзисторов инвертора

Из-за индуктивности двигателя ток не может резко упасть до нуля, когда транзистор выключается. По этой причине в схему включаются антипараллельные диоды, которые коммутируют (пропускают) токи в момент выключения транзистора, таким образом, защищая его (см. рис. 4.9). Частота тока в обмотках статора зависит от длительности цикла срабатывания выходных ключей инвертора (рис. 4.10). Амплитуда определяется величиной отношения времени включения ко времени выключения транзисторов. Это отношение при широтно-импульсной модуляции синусоидального сигнала делает возможным получить синусоидальную форму с минимальным числом гармоник (см. рис. 4.11).

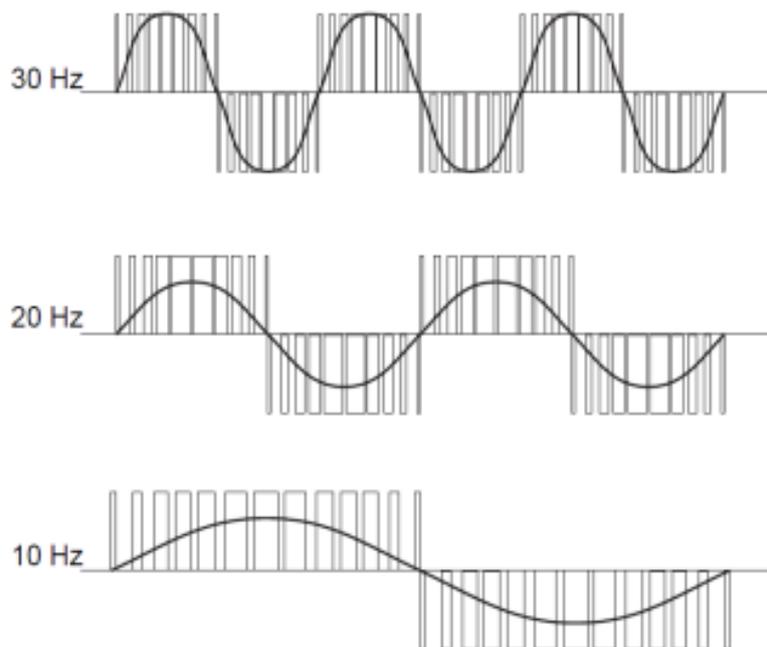


Рис. 4.11. Преобразование импульсного управляющего сигнала в синусоидальный выходной ток инвертора

Развиваемый M_{\max} пропорционален $(U_1/f_1)^2$, поэтому для поддержания неизменной так называемой перегрузочной способности двигателя, т.е. отношения M_{\max}/M_B , необходимо при изменении частоты f_1 одновременно изменять и напряжение питания статора U_1 так, чтобы отношение $U_1/f_1 = \text{const}$, если момент нагрузки на валу M_B не зависит от скорости вращения n , или по другим законам, определяемым зависимостью $M_B = f(n)$.

Лабораторная работа 4

СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ПУСКА ДВИГАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Цель работы: изучение схем управления и способов пуска асинхронного двигателя.

Задание.

1. Исследовать работу схемы прямого пуска двигателя.
2. Исследовать работу схемы реверса двигателя.
3. Исследовать работу схем торможения двигателя.

Порядок выполнения работы

Указания по проведению эксперимента

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
2. Соедините гнезда защитного заземления устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» трехфазного источника питания.
3. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрических соединений, указанной преподавателем.
4. Включите трехфазный источник питания. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся светодиоды.
5. Включите выключатель QF1.
6. Включите выключатель SF1. В результате загорится зеленая лампа блока световой сигнализации, сигнализирующая о готовности двигателя М1 к пуску.

Для схемы прямого пуска двигателя (рис. 4.12):

1. Нажмите черную кнопку поста управления SB1. В результате произойдет прямой пуск двигателя М1, о чем будет сигнализировать загоревшаяся красная лампа в блоке световой сигнализации. Стрелки вольтметра и амперметра покажут напряжение и ток двигателя М1. Зеленая лампа погаснет.

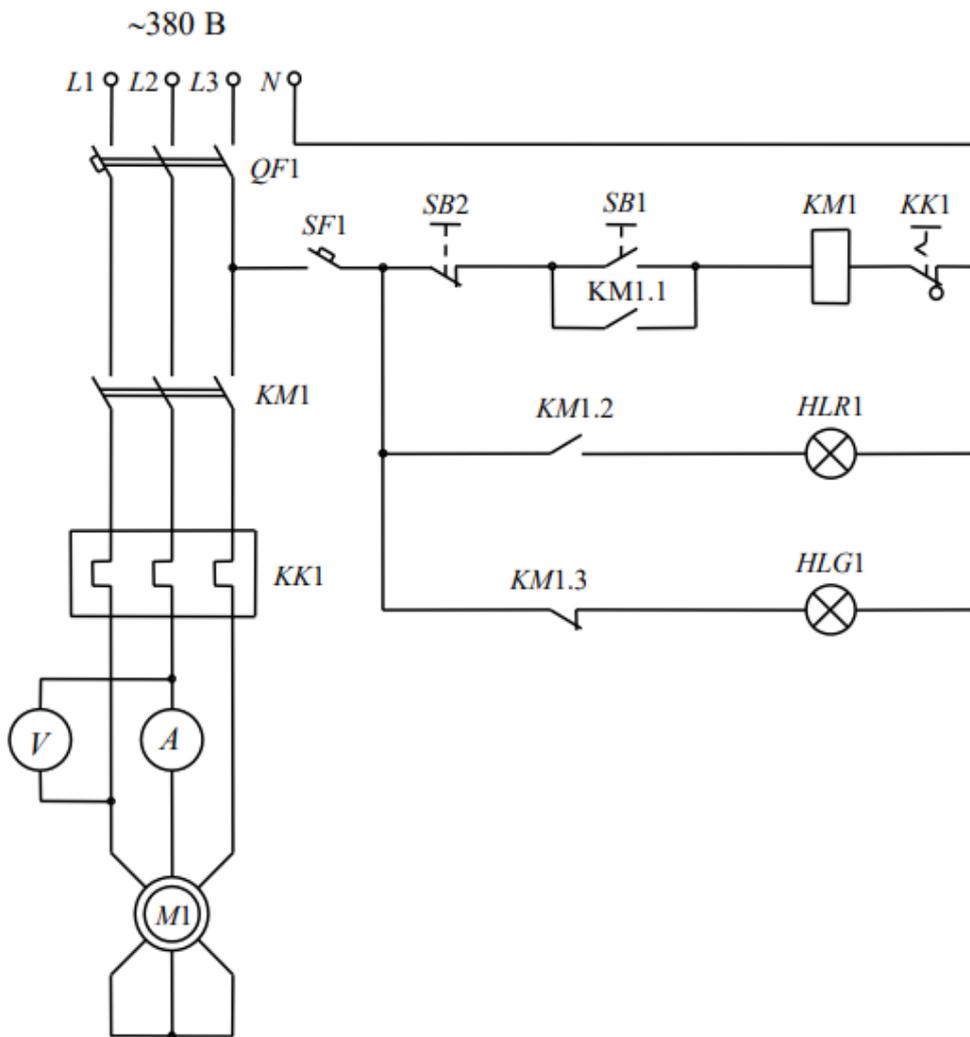


Рис. 4.12. Принципиальная электрическая схема управления асинхронным двигателем с обеспечением его прямого пуска

2. Нажмите красную кнопку поста управления SB2. В результате произойдет отключение двигателя M1 от электрической сети и последующий его останов. Двигатель M1 будет готов к очередному пуску, о чем будет сигнализировать загоревшаяся зеленая лампа. Красная лампа погаснет.

3. По завершении эксперимента отключите трехфазный источник питания нажатием на кнопку «красный гриб».

Для схемы прямого пуска и реверса двигателя (рис. 4.13):

1. Нажмите черную кнопку поста управления SB1.1. В результате произойдет прямой пуск двигателя M1, о чем будет сигнализировать загоревшаяся красная лампа в блоке световой сигнализации. Стрелки вольтметра и амперметра укажут напряжение и ток двигателя M1. Зеленая лампа погаснет.

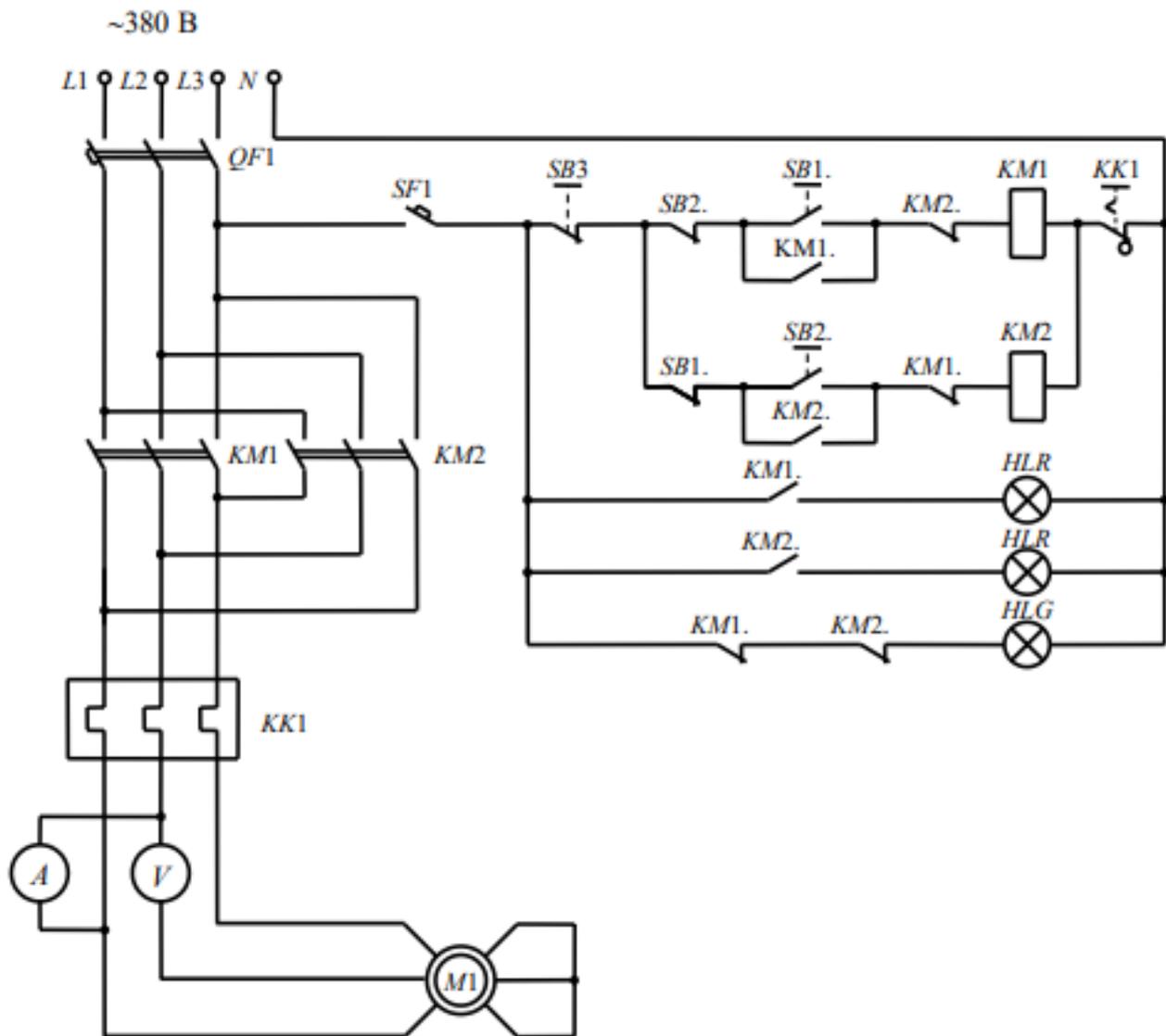


Рис. 4.13. Принципиальная электрическая схема управления асинхронным двигателем с обеспечением его прямого пуска и реверса

2. Нажмите другую черную кнопку кнопочного поста управления SB2.1. В результате произойдет реверс двигателя M1, о чем будет сигнализировать загоревшаяся вторая красная лампа. Стрелки вольтметра и амперметра покажут напряжение и ток двигателя.

3. Нажмите красную кнопку поста управления SB3. В результате произойдет отключение двигателя M1 от электрической сети и последующий его останов. Двигатель M1 будет готов к очередному пуску, о чем будет сигнализировать загоревшаяся зеленая лампа. Красная лампа в блоке погаснет.

4. По завершении эксперимента отключите трехфазный источник питания G1 нажав на кнопку «красный гриб».

Для схемы управления асинхронным двигателем с обеспечением его пуска с помощью автотрансформатора (рис. 4.14):

1. Установите желаемую выдержку времени в реле времени, например, 5 с.
2. Включите трехфазный источник питания. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся светодиоды.
3. Включите выключатель QF1, а затем SF1. В результате загорится зеленая лампа, сигнализирующая о готовности двигателя M1 к пуску.

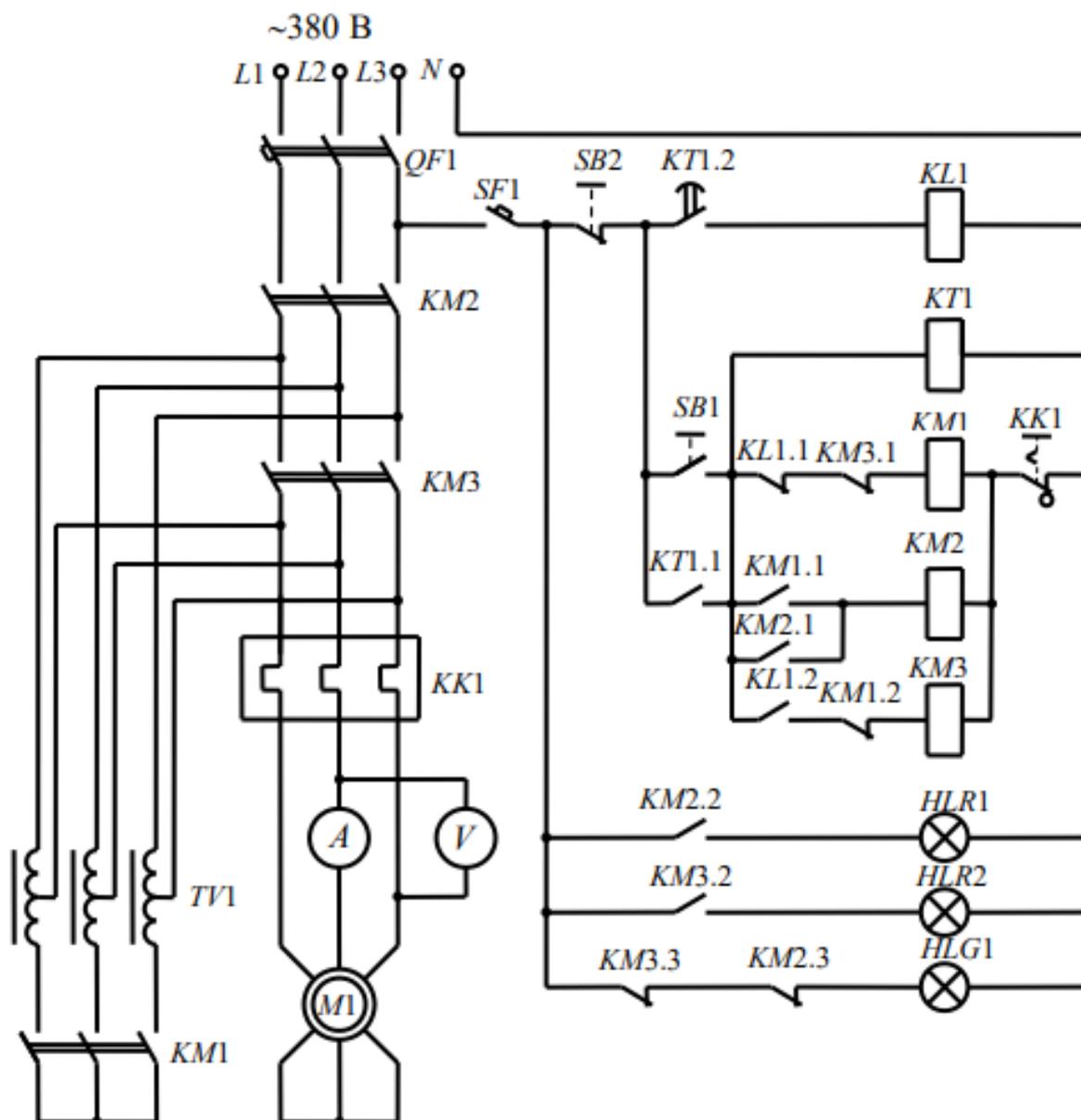


Рис. 4.14. Принципиальная электрическая схема управления асинхронным двигателем с обеспечением его пуска с помощью автотрансформатора

4. Нажмите черную кнопку поста управления SB1. В результате начнется пуск двигателя М1 при пониженном с помощью автотрансформатора напряжения TV1, о чем будет сигнализировать загоревшаяся красная лампа. Спустя 5 с двигатель подключится на полное напряжение сети, при котором пуск и завершится. Об этом будет сигнализировать загоревшаяся другая красная лампа в блоке световой сигнализации. Стрелки вольтметра и амперметра укажут напряжение и ток двигателя М1 на этапах его пуска. Зеленая лампа в блоке световой сигнализации погаснет.

5. Нажмите красную кнопку поста управления SB2. В результате произойдет отключение двигателя М1 от электрической сети и последующий его останов. Двигатель М1 будет готов к очередному пуску, о чем будет сигнализировать загоревшаяся зеленая лампа. Красные лампы погаснут.

6. По завершении эксперимента отключите трехфазный источник питания нажатием на кнопку «красный гриб».

Для схемы управления асинхронным двигателем с обеспечением его пуска с переключением обмотки статора со «звезды» на «треугольник» (рис. 4.15):

1. Установите желаемую выдержку времени в реле времени, например, 5 с.

2. Включите трехфазный источника питания. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся светодиоды.

3. Нажмите черную кнопку кнопочного поста управления SB1. В результате пуск двигателя М1 начнется при соединении обмотки статора двигателя М1 в «звезду», о чем будет сигнализировать загоревшаяся красная лампа в блоке световой сигнализации. Спустя 5 с произойдет пересоединение обмотки статора двигателя М1 в «треугольник», в котором пуск и завершится. Об этом будет сигнализировать загоревшаяся вторая красная лампа в блоке световой сигнализации. Стрелки вольтметра и амперметра укажут напряжение и ток двигателя М1 на этапах его пуска. Зеленая лампа в блоке погаснет.

4. Нажмите нижнюю кнопку кнопочного поста управления SB2. В результате произойдет отключение двигателя М1 от электрической сети и последующий его останов. Двигатель М1 готов к очередному пуску, о чем будет сигнализировать загоревшаяся зеленая лампа. Красные лампы в блоке световой сигнализации погаснут.

5. По завершении эксперимента отключите трехфазный источник питания нажатием на кнопку «красный гриб».

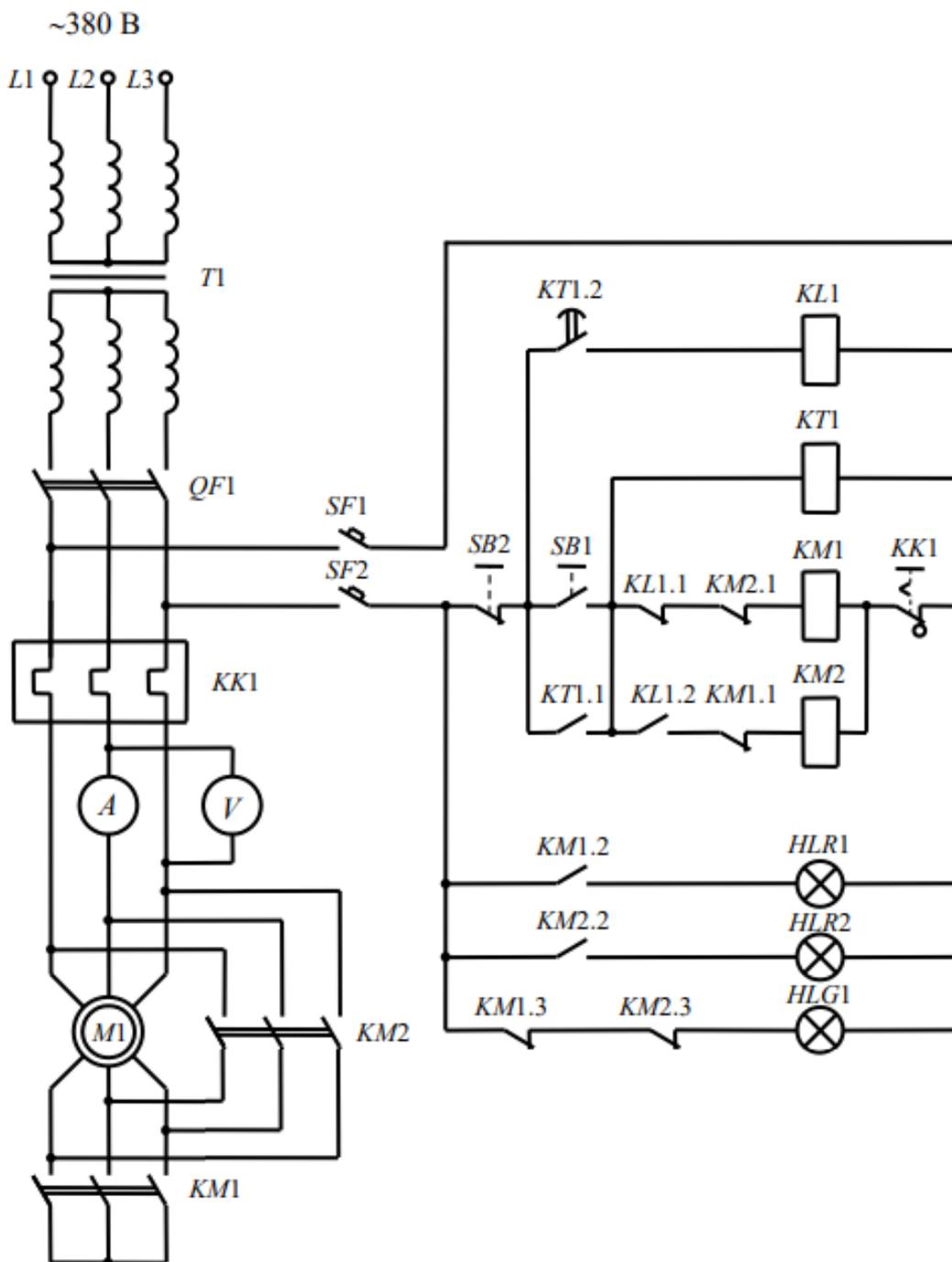


Рис. 4.15. Принципиальная электрическая схема управления асинхронным двигателем с переключением обмотки статора со «звезды» на «треугольник»

Для схемы управления асинхронным двигателем с обеспечением его прямого пуска и динамического торможения в функции времени (рис. 4.16):

1. Установите желаемую выдержку времени реле времени, например, 5 с.
2. Установите желаемое сопротивление реостата, например, 60 Ом.
3. Нажмите черную кнопку кнопочного поста управления SB1. В результате произойдет прямой пуск двигателя M1, о чем будет сигнализировать загоревшаяся красная лампа

в блоке световой сигнализации. Стрелки вольтметра и амперметра укажут напряжение и ток двигателя М1. Зеленая лампа погаснет.

4. Нажмите черную кнопку кнопочного поста управления SB2.1. В результате произойдет отключение двигателя М1 от электрической сети и подключение двух его фаз на постоянное напряжение, получаемое с помощью двухполупериодного выпрямителя. Двигатель М1 будет в течение 5 с динамически тормозиться, о чем будет сигнализировать загоревшаяся вторая красная лампа. Затем он будет готов к очередному пуску, о чем будет сигнализировать загоревшаяся зеленая лампа. Красные лампы в блоке световой сигнализации погаснут.

5. По завершении эксперимента отключите трехфазный источник питания нажатием на кнопку «красный гриб».

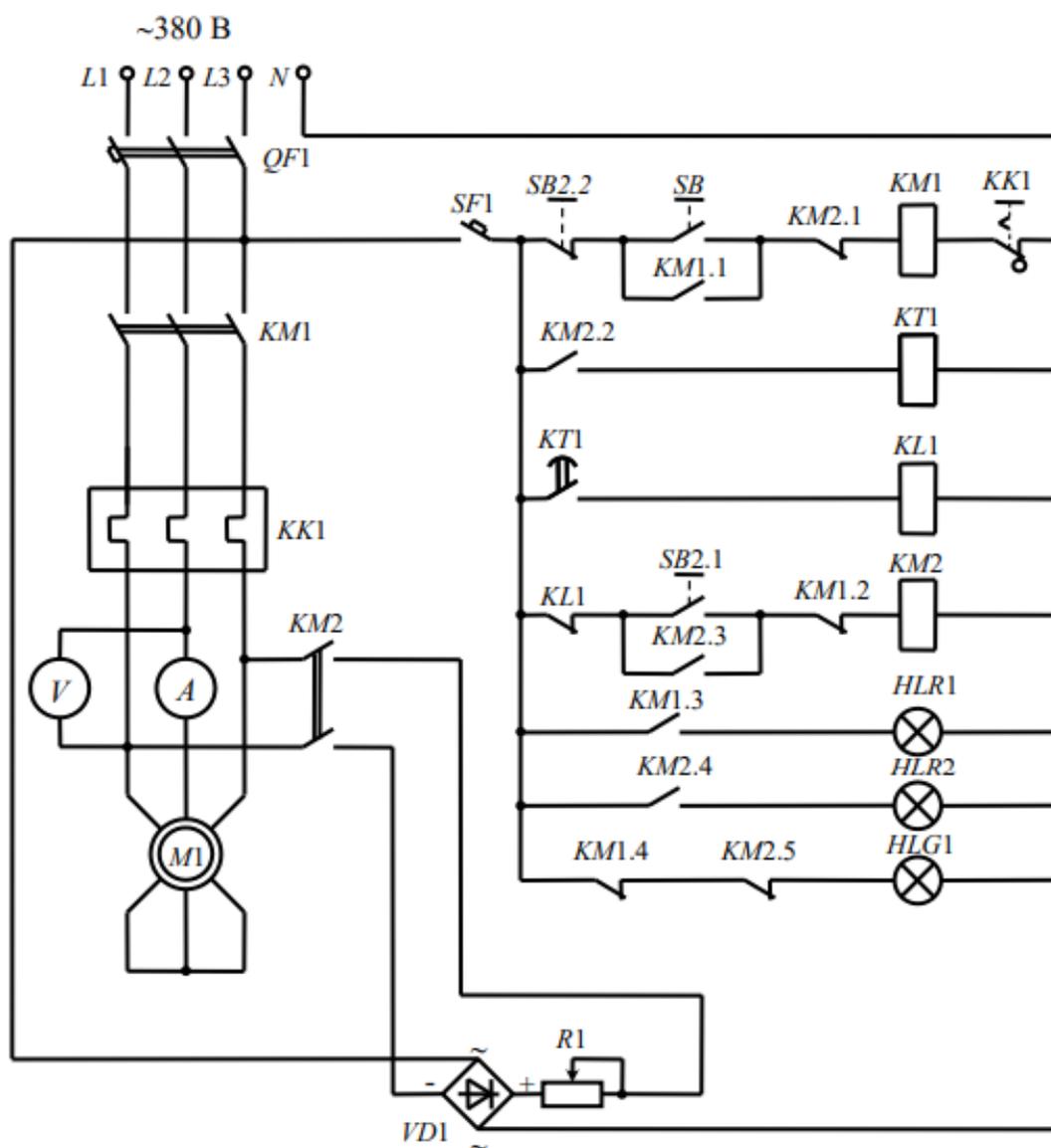


Рис. 4.16. Принципиальная электрическая схема управления асинхронным двигателем с обеспечением его прямого пуска и динамического торможения в функции времени

Контрольные вопросы

1. Какие существуют способы пуска асинхронного двигателя?
2. Напишите выражение, определяющее пусковой ток двигателя при прямом пуске.
3. Каким образом реализуется прямой пуск АД?
4. Назовите основной недостаток прямого пуска мощного асинхронного двигателя.
5. В чем заключается динамическое торможение?
6. В каких случаях возможен пуск АД по схеме переключения обмоток статора со «звезды» на «треугольник»?
7. Почему пуск АД по схеме переключения обмоток статора со звезды на треугольник можно выполнять для небольших нагрузок?
8. В чем заключается особенность автотрансформаторного пуска?
9. Почему автотрансформаторы, предназначенные для пуска АД, имеют небольшую массу и габариты?
10. Когда происходит переключение на полное напряжение при автотрансформаторном пуске?
11. Для чего включаются дополнительные сопротивления в цепь ротора при пуске АД с фазным ротором?

5. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ И ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

5.1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМАХ

Гидравлические исполнительные механизмы преобразуют энергию давления жидкости в механическую энергию перемещения или вращения.

Гидравлические исполнительные механизмы (ГИМ) имеют ряд важных преимуществ перед электрическими, а именно:

- они обладают большими мощностями и быстродействием, чем электрические исполнительные механизмы при тех же габаритах и массах;
- они позволяют получить большие перестановочные усилия при сохранении высокого уровня плавности перемещения выходного штока или вращения выходного вала.

Наиболее широкое применение они находят в тех случаях, когда при относительно небольших габаритах и массах самих ГИМ требуется развивать большие усилия:

- для перемещения рабочих органов (например, отвала бульдозера, ковша экскаватора и др.) в дорожных и строительных машинах;
- для приведения в движение выходного звена (вала, штока), соединенного с регулирующим органом систем автоматического управления газовыми, гидравлическими или паровыми турбинами;
- для управления регулирующими и рабочими органами в машинах и агрегатах машиностроительной, легкой, пищевой, сельскохозяйственной и других отраслей промышленности и народного хозяйства.

Рабочим телом в ГИМ является жидкость.

К основным и наиболее распространенным параметрам, характеризующим состояние жидкости, относятся давление, температура и плотность.

Основными параметрами самих ГИМ являются:

- рабочий объем;
- максимальная величина перемещения (угла поворота) выходного штока (вала);
- максимальная скорость перемещения выходного штока (вращения выходного вала);
- номинальное давление жидкости;
- перестановочное усилие или вращающий момент, развиваемые при номинальном давлении жидкости;
- момент инерции вращающихся частей;

- масса (вес) без жидкости;
- общий коэффициент полезного действия;
- объемный коэффициент полезного действия.

Чаще всего ГИМ входят в состав гидравлических исполнительных устройств (ГИУ), включающих в себя ГИМ и регулирующий орган (РегО). При этом выходной шток (вал) ГИМ соединяют с регулирующим органом (РегО) непосредственно или через механическую систему передачи перемещений и усилий. В некоторых случаях ГИМ соединяют непосредственно с рабочим органом (Рабо).

В качестве примеров РегО можно привести:

- регулирующие клапаны, задвижки, шиберы, поворотные заслонки;
- электрические автотрансформаторы, переменные активные сопротивления (реостаты);
- механизм для изменения расстояния между неподвижными и подвижными ножами измельчителя корне- и клубнеплодов и др.

Главным назначением РегО чаще всего является изменение интенсивности потока энергии или вещества, подводимых к объекту правления.

Примерами Рабо можно считать:

- отвал бульдозера или ковш экскаватора, используемые для выполнения работы при перемещении сыпучих материалов (земли, песка и др.);
- неподвижные и подвижные ножи устройства для измельчения корней клубнеплодов в сельскохозяйственном производстве и т.п.

Главным назначением Рабо чаще всего является выполнение работы (технологической операции), для осуществления которой предназначено устройство, включающее в себя этот рабочий орган.

5.2. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И РАБОТА ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Гидравлические исполнительные механизмы состоят из двух основных частей:

- 1) гидропривод (гидродвигатель);
- 2) управляющее устройство либо с дроссельным, либо с объемным (гидростатическим), либо со струйным управлением.

ГИМ с дроссельным управлением работают при постоянном давлении рабочей жидкости. При этом в качестве управляющих устройств (дросселей) обычно используют золотниковые пары. Значительно реже (преимущественно в маломощных ГИМ) применяют дроссели на основе струйной трубки [7].

5.2.1. Конструкции гидроприводов (гидродвигателей)

По виду движения выходного штока (вала) гидроприводы подразделяются на два основных типа:

- гидроприводы с возвратно-поступательным движением поршня (поршневые двигатели);
- гидроприводы с возвратно-поворотным движением выходного вала, соединенного либо с поршнем (мембраной, сифоном), либо с поворотной лопастью;
- гидродвигатели вращательного движения (гидромоторы), применяемые в ГИМ с объемным регулированием и рассмотренные ниже в параграфе 3.3.

Основные конструктивные схемы поршневых, лопастных, мембранных сифонных гидроприводов показаны на рис. 5.1.

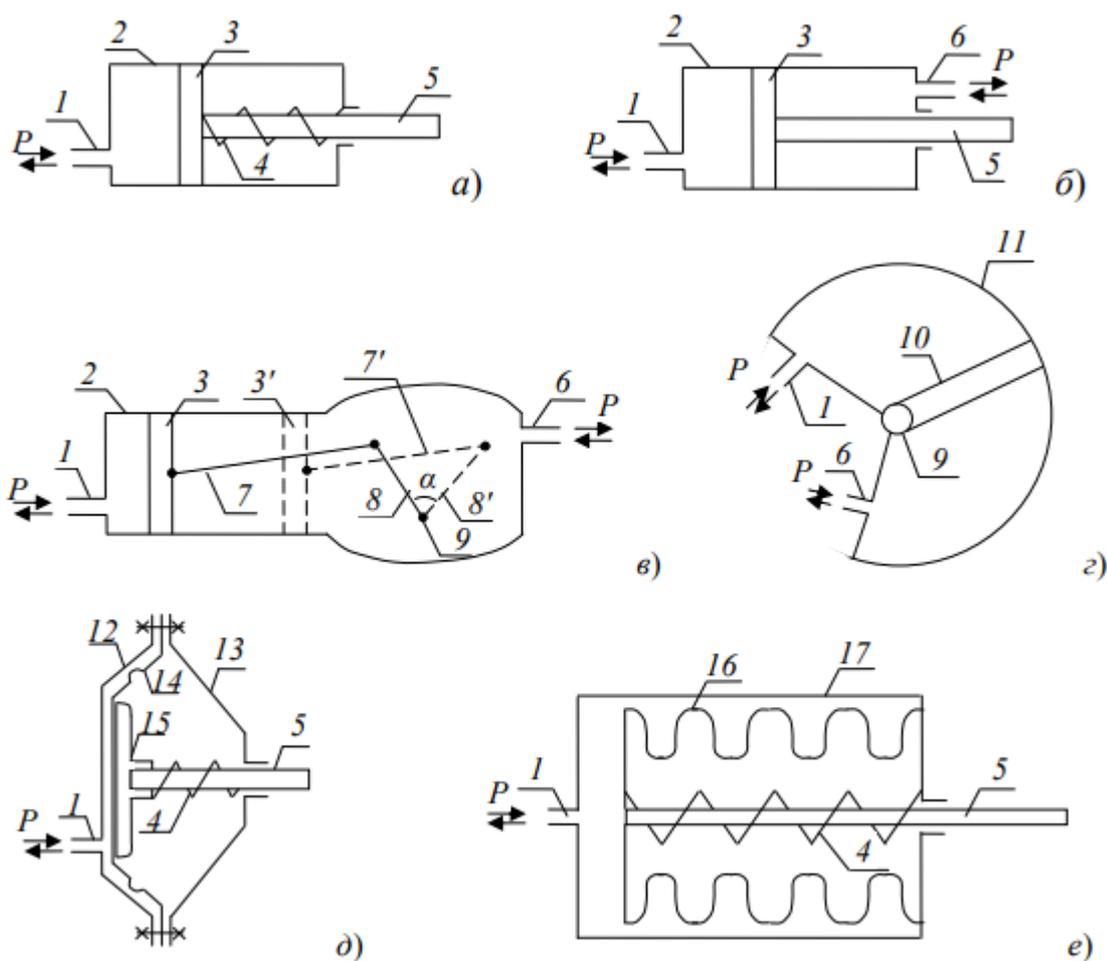


Рис. 5.1. Схемы гидроприводов:

- a* – поршневой простого действия; *б* – поршневой двойного действия с линейным перемещением штока; *в* – поршневой двойного действия с кривошипно-шатунным механизмом;
- г* – лопастной двойного действия с поворотной лопастью;
- д* – диафрагменный простого действия; сифонный простого действия

В гидроприводе простого действия (рис. 5.1, *а*) движение поршня 3 и штока 5 вправо осуществляется за счет силы, создаваемой давлением P жидкости, подводимой в левую полость цилиндра 2 через штуцер 1. Обратное движение поршня 3 влево происходит за счет усилия пружины 4 после снятия давления, подводимого через штуцер 1. При этом жидкость из полости силового цилиндра 2 отводится через штуцер 1. При вертикальном расположении цилиндра 2 обратное движение поршня 3 (после снятия давления P) может осуществляться за счет силы веса рабочего органа, для подъема и опускания которого используется гидропривод простого действия.

В гидроприводах двойного действия (рис. 5.1, *б, в*) движение поршня 3 в ту или другую сторону осуществляется за счет сил, создаваемых давлением жидкости, подводимой через штуцеры 1 или 6.

Показанный на рис. 5.1, *в* гидропривод с кривошипно-шатунным механизмом обеспечивает преобразование линейного перемещения поршня 3 в поворот выходного вала 9 гидравлического исполнительного механизма на угол α , обычно не более 90 – 120 угловых градусов.

Крайние левые положения поршня 3, шатуна 7 и кривошипа 8 на рис. 3.1, *в* показаны сплошными линиями, а крайние правые положения поршня 3', шатуна 7' и кривошипа 8' показаны пунктирными линиями.

В гидроприводах двойного действия с поворотной лопастью (рис. 5.1, *з*), применяемых при относительно низких давлениях рабочих жидкостей, угол поворота выходного вала 9 обычно не превышает 270 – 300 угловых градусов. При подаче давления P через штуцер 1 в верхнюю полость камеры 11 лопасть 10 и выходной вал 9 поворачиваются по часовой стрелке, вытесняя жидкость из нижней полости через штуцер 6. При подаче давления через штуцер 6 в нижнюю полость камеры 11 происходит поворот лопасти 10 и выходного вала 9 в обратном направлении. Недостатком этого варианта гидропривода является сложность обеспечения плотного прилегания лопасти 10 к цилиндрической и торцевым поверхностям камеры 11, что приводит к снижению объемного коэффициента полезного действия таких ГИМ.

Диаметры гидроцилиндров и ходы штоков (углы поворота выходных валов) ГИМ общепромышленного назначения относительно невелики. Гидроцилиндры большого диаметра (более 150 мм) и гидроцилиндры с большим ходом поршня (до 3500 мм) являются, как правило, устройствами не общепромышленного, а специального назначения, обычно проек-

тируются и разрабатываются одновременно с автоматизируемым агрегатом и встраиваются в него в качестве неотъемлемой его части.

В устройствах для фиксации (зажимания, удерживания) деталей с ограниченной величиной перемещения применяют мембранные сальфонные гидроприводы одностороннего действия.

Мембранный гидропривод (рис. 5.1, *д*) представляет собой корпус, состоящий из двух деталей 12 и 13, между которыми закреплена диафрагма 14, изготовленная из резины, прорезиненной ткани или армированной тканью полимерного материала. Значительная часть мембраны прикреплена к диску 15. При подаче давления P через штуцер 1 мембрана воздействует на диск 15, преодолевает силу пружины 4 и перемещает шток 5 вправо. После снятия давления P жидкость вытесняется из левой полости под действием пружины 4. Величина хода штока 5 обычно не превышает 15 – 25% внешнего диаметра диафрагмы 14.

Сальфонный гидропривод (рис. 5.1, *е*) одностороннего действия представляет собой сальфон 16 (размещенный в корпусе 17), снабженный штоком 5. При подаче давления P в штуцер 1 сальфон 16 сжимается и перемещает шток 5 вправо. При снятии давления за счет упругости (пружинных свойств) сальфона 16 жидкость вытесняется через штуцер 1, а шток 5 перемещается влево. При необходимости сальфон может быть снабжен дополнительной пружиной 4. Чаще всего дополнительную пружину 4 размещают непосредственно на штоке 5 по аналогии с тем, как это показано на рис. 5.1.

Мембранные сальфонные ГИМ при необходимости могут быть выполнены в виде устройств двустороннего действия.

5.2.2. Управляющие устройства гидравлических исполнительных механизмов

ГИМ с дроссельным регулированием работают при постоянном давлении рабочей жидкости. В качестве управляющих устройств чаще всего применяются золотниковые пары, реже (преимущественно в маломощных ГИМ) используют механизмы со струйной трубкой. В зависимости от числа регулирующих дросселей золотниковые управляющие устройства ГИМ подразделяют на двух- и трехпоршеньковые.

Перемещение поршня 5 и штока 6 каждого из представленных на рис. 5.2, *а, б* гидроцилиндров 4 происходит за счет изменения площади поперечного сечения окон золотников, определяемых смещением штоков 1 (с закрепленным на них поршеньками 2) внутри цилиндрической камеры.

При нейтральном положении штока 1 с поршнями 2 (в корпусе 3 золотника) каналы для подвода давления $P_{\text{нм}}$ (из напорной магистрали) закрыты, при этом жидкость не поступает от насоса ни в одну из полостей гидроцилиндра 4, и его поршень 5 и шток 6 остаются неподвижными. При смещении штока 1 и поршеньков 2 влево (рис. 5.2, а) рабочая жидкость по каналам и трубопроводам поступает в левую полость гидроцилиндра 4 и его поршень 5 и шток 6 перемещаются вправо. Если же штоки 1 и поршеньки 2 в корпусе 3 золотников (рис. 5.2, а) сместить вправо от нейтрального положения, то рабочая жидкость будет поступать в правую полость гидроцилиндра 4 и его шток 6 начнет перемещаться влево (рис. 5.2, а, б), и из левых полостей рабочая жидкость с давлением $P_{\text{сл}}$ пойдет на слив гидробак.

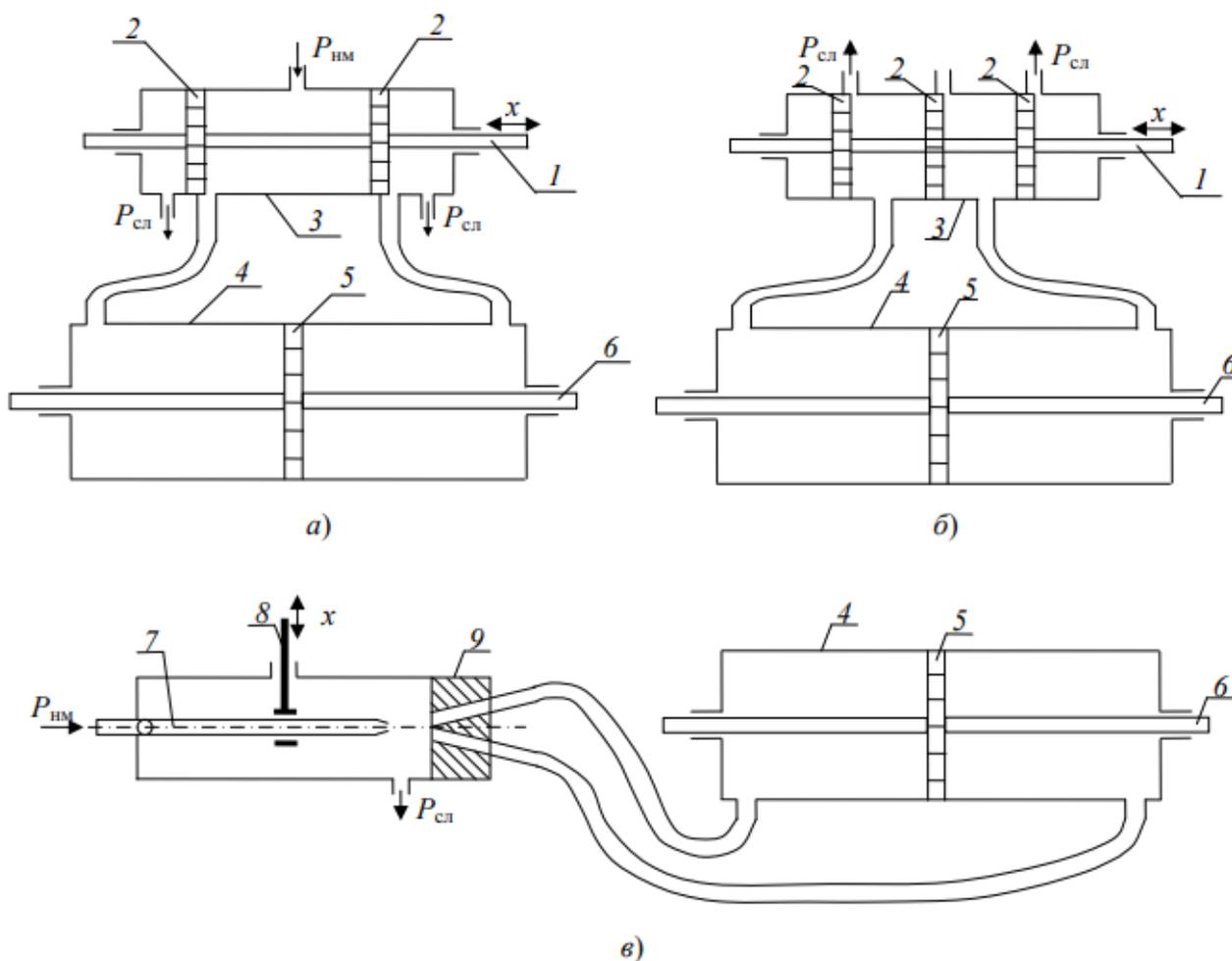


Рис. 5.2. Схемы управляющих устройств ГИМ с дроссельным управлением:

а – золотниковое с двумя регулируемыми поршнями;

б – золотниковое с тремя регулируемыми поршнями;

в – со струйной трубкой

Аналогично работает система управления на основе золотника с тремя поршеньками, представленная на рис. 5.2, б. Схема ГИМ с управляющим устройством на основе струйной трубки б приведена на рис. 5.2, в. При симметричном расположении конической насадки струйной трубки 7 относительно двух прямых каналов в стенке 9, давление рабочей жидкости в каждом канале одинаковое, и шток 5 гидроцилиндра 4 неподвижен. При перемещении штока 8 происходит поворот струйной трубки б вверх или вниз. Если струйная трубка б повернулась против часовой стрелки (ее коническая насадка поднялась), то давление в верхнем канале стенки 9 повысится, а давление в нижнем канале понизится. В результате поршень 5 и шток б гидроцилиндра 4 начнут перемещаться вправо. Аналогично, при повороте струйной трубки б по часовой стрелке давление в нижнем канале стенки 9 повысится, а в верхнем канале понизится, что приведет к движению поршня 5 и штока б влево.

Недостатком управляющих устройств со струйной трубкой является постоянный расход рабочей жидкости через коническую насадку трубки. Поэтому КПД ГИМ со струйной трубкой гораздо ниже, чем у ГИМ с золотниковыми (дроссельными) управляющими устройствами. Применение ГИМ со струйной трубкой целесообразно в сравнительно маломощных системах. Наиболее часто такие механизмы со струйной трубкой используют в качестве управляющих устройств более мощных ГИМ с золотниковым управлением.

5.3. ОБЪЕМНЫЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПЕРЕДАЧИ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

Объемная гидропередача (гидропривод) с вращательным движением выходного звена гидродвигателя (часто называемая гидравлической трансмиссией) состоит из объемных гидронасоса гидромотора регулируемого или нерегулируемого типов, соединенных между собой трубопроводами.

В объемных гидропередачах энергия давления рабочей жидкости, подаваемой гидронасосом, преобразуется с помощью гидромотора в механическую работу на его выходном валу.

Действие объемной гидропередачи можно сравнить (рис. 5.3) с работой шариковой связи ведущего и ведомого валов, в которой ведомая звездочка *b* (соответствующая гидромотору) приводится во вращение шариками *c*, вытесняемыми шарикоприводу ведущей звездочкой *a* (соответствующей гидронасосу).

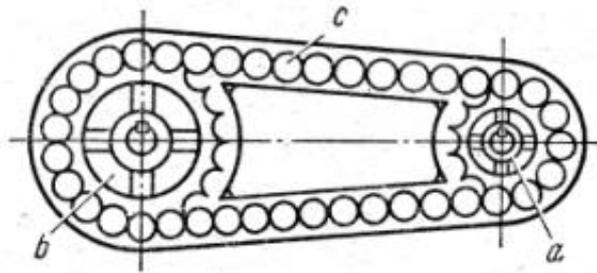


Рис. 5.3. Схема шариковой связи для передачи энергии вращения с ведущего вала на ведомый

Гидромоторы – это устройства, предназначенные для преобразования энергии жидкости в механическую энергию вращения выходного вала с последующим воздействием на рабочий орган, выполняющий определенные технологические функции в составе машин и агрегатов, применяемых в газовой и нефтяной отраслях, авиации и космической индустрии, автомобильном транспорте и автокранах, строительной технике и коммунальных машинах, а также в железнодорожной, лесотехнической, сельскохозяйственной и других отраслях.

В составе средств автоматизации мехатронных и робототехнических систем применяют в основном следующие виды гидромоторов (гидродвигателей с вращательным движением выходного вала), а именно:

- роторные радиально-поршневые;
- роторные аксиально-поршневые;
- шестеренные;
- лопастные (шиберные, пластинчатые).

Роторная радиально-поршневая гидромашина представляет собой гидромашину (насос гидромотор), у которой оси поршней или плунжеров перпендикулярны оси вращения ротора (или составляют с ней углы более 45°).

В роторных радиально-поршневых насосах жидкость вытесняется из рабочих камер (цилиндров) в процессе вращательно-поступательного движения вытеснителей (поршней, плунжеров). Кинематической основой этого насоса является известный кривошипно-шатунный механизм, преобразованный так, что его неподвижным звеном является кривошип 1 (рис. 5.4, a), цилиндр же 3 вращается (приводится) с постоянной угловой скоростью вокруг оси O_2 , а шатун 2 вращается с переменной скоростью вокруг оси O_1 . Расстояние e между этими осями (соответствующее размеру r неподвижного кривошипа 1) называется эксцентриситетом.

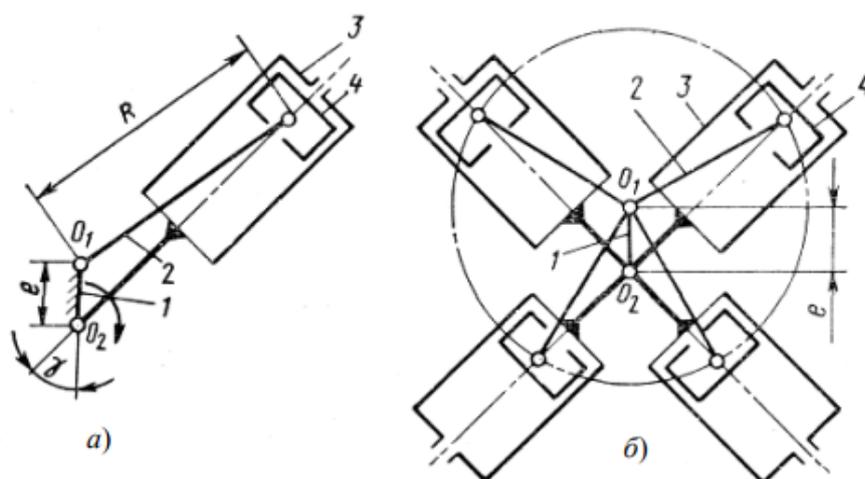


Рис. 5.4. Кинематические схемы роторных радиально-поршневых гидромашин

Поскольку поршень (ползун) 4 этого кривошипно-шатунного механизма связан с шатуном 2, вращающимся вокруг оси O_1 , он будет при вращении цилиндра 3 вокруг оси O_2 совершать в нем возвратно-поступательные перемещения с ходом $h = 2e$, при которых камеры (полости) цилиндров будут последовательно (через каждые 180° поворота) увеличиваться и уменьшаться. Следовательно, и в этой схеме движение поршня в сторону увеличения камеры может быть использовано для засасывания жидкости в цилиндр, а в сторону уменьшения камеры – для вытеснения ее из цилиндра.

Взяв не один, а несколько звездообразно расположенных цилиндров 3, оси которых пересекаются в общем центре вращения O_2 , а шатуны 2 поршней 4 шарнирно связаны с осью O_2 , получим кинематическую схему многопоршневого насоса с радиальным расположением цилиндров (рис. 5.4, б). Поскольку цилиндры 3 в этой схеме вращаются вокруг неподвижной оси O_2 , представляется возможным использовать ее в качестве распределительной цапфы (золотника), в которой для этого выполняются каналы всасывания a и нагнетания b (рис. 5.5). Цилиндры 3 последней схемы посажены своим основанием на распределительную цапфу и отверстиями в своих доньшках соединяются с осевыми сверлениями a и b , через которые отводится и подводится к цилиндрам жидкость.

Кинематика механизма (рис. 5.5) сохранится, если ведение поршней здесь осуществлено с помощью кольца 2, радиус которого равен радиусу R шатуна прежней схемы (см. также штрихпунктирную окружность на рис. 5.4, б). Для этого поршни связываются тем или иным способом (с помощью пружин, давления жидкости подкачивающих насосов и пр.) со статорным кольцом 2, ось которого смещена относительно оси вращения цилиндрического блока 1.

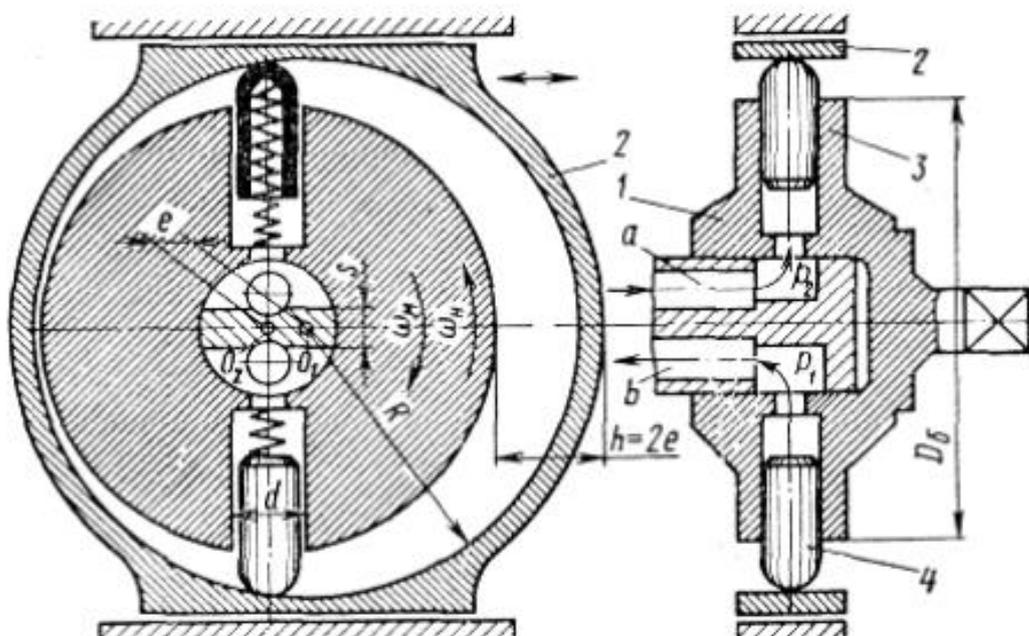


Рис. 5.5. Принципиальная схема роторно-поршневого насоса (гидромотора) радиального типа

Из изложенного выше следует, что радиально-поршневой насос, схема которого представлена на рис. 5.5, построен на базе общеизвестного кривошипношатунного механизма, в соответствии с чем известные кривошипношатунного механизма кинематические зависимости будут справедливы и для насоса данной схемы.

Конструктивная схема радиального насоса этого типа изображена на рис. 5.6. Насос имеет свободно посаженный на цапфу 1 (диаметр D) цилиндрический блок 3 (рис. 5.6) со звездообразным расположением нескольких (5 – 9) цилиндров (диаметр d), смещенных один относительно другого на угол $360/z$, где z – число цилиндров. Поршни 4 прижимаются к статорному кольцу 2 под действием центробежных сил и усилий пружин 5. Эти насосы называют часто звездообразными, понимая под этим насосы, у которых рабочие органы расположены на нескольких пересекающихся осях.

Оси цилиндров блока этого насоса расположены в общей плоскости и пересекаются в центре O_2 вращения блока. Распределение жидкости осуществляется через выполненные в цапфе окна a и b (рис. 5.6, б), с которыми при вращении блока поочередно соединяются цилиндры через отверстия в их доньшках (размер k). Распределительные окна через осевые каналы цапфы соединяются с всасывающей и нагнетающей магистралями.

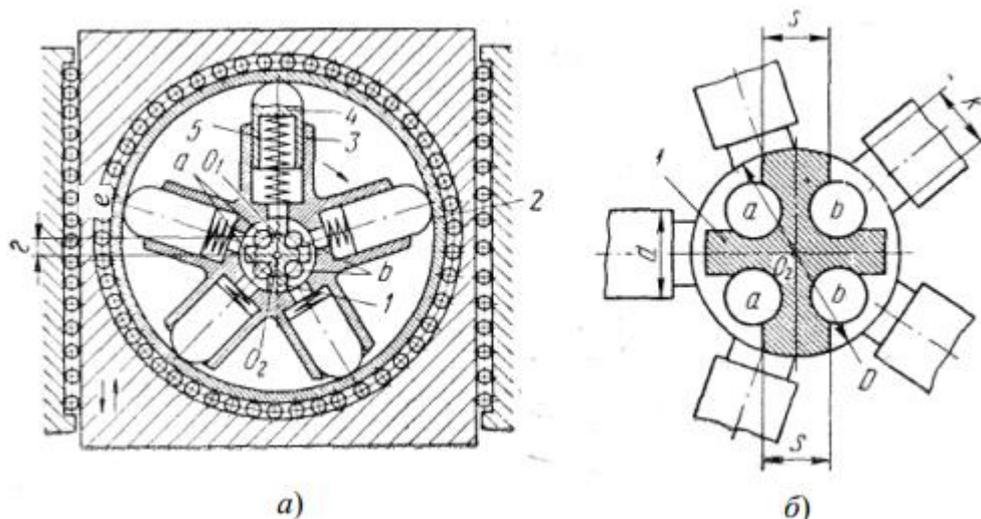


Рис. 5.6. Конструктивная схема многопоршневого радиально-поршневого насоса (гидромотора)

При ходе поршней 4 от центра блока 3 (величина хода поршней равна двойной величине эксцентриситета e) жидкость будет засасываться поршнями через окно a , а при ходе к центру – нагнетаться через окно b . При переходе цилиндров через нейтральное положение (вертикальную ось) они перекрываются уплотнительной частью (перевальной перемычкой) распределительной цапфы, ширина s которой больше размера отверстия в доньшках цилиндров $s > k$.

При работе машины в качестве насоса поршни связываются с барабаном при помощи различных механических устройств или пружин, помещенных в цилиндры, а также при помощи сил давления жидкости вспомогательного насоса (насоса подкачки). В некоторых конструкциях радиальных насосов эта связь осуществляется с помощью одной лишь центробежной силы поршней. Поршни под действием указанной силы прижимаются к статорному кольцу 2, вступая с ним во фрикционное взаимодействие.

Для снижения сил трения поршней о статорное кольцо последнее выполняется обычно в виде обоймы роликового подшипника 2 (рис. 5.6, *a*). Поршни при своем движении увлекают эту обойму, благодаря чему трение скольжения головок поршней заменено здесь трением качения роликов. В результате кольцо будет следовать за ротором с угловой скоростью, практически равной угловой скорости ротора.

Для обеспечения надежного ведения поршней сила прижима их к статорному кольцу должна превышать суммарную силу противодействия, слагаемую из:

- а) силы трения поршня в цилиндре;
- б) силы инерции поршня в возвратно-поступательном движении его в цилиндре;

в) силы отрицательного давления на поршень, возникающего в зоне всасывания в результате образования вакуума под поршнем (расчет ведется исходя из наличия полного вакуума в цилиндре).

При работе гидромашины в качестве гидромотора поршни во время рабочего хода перемещаются от центра под действием рабочего давления жидкости, поступающей от источника питания (насоса), а во время нерабочего (холостого) хода – к центру, вследствие эксцентричного расположения ротора I относительно статора 3 .

Радиально-поршневые насосы гидромоторы изготавливают мощностью до 3000 кВт и выше с расходом жидкости до 8000 л/мин. Насосы этого типа малых размеров выполняют для давлений до 100 МПа (1000 кгс/см²). Эти насосы выпускаются преимущественно в регулируемом варианте. Цилиндры обычно располагают в несколько (до шести) рядов, благодаря чему получают высокую подачу насоса или большой крутящий момент на валу гидромотора. В одном ряду обычно располагают от 5 до 13 цилиндров.

5.4. КЛАССИФИКАЦИЯ ГИДРОПРИВОДОВ

Гидроприводы могут быть двух типов: гидродинамические и объемные. В гидродинамических приводах используется в основном кинетическая энергия потока жидкости (и, соответственно, скорости движения жидкостей в гидродинамических приводах велики по сравнению со скоростями движения в объемном гидроприводе). В объемных гидроприводах используется потенциальная энергия давления рабочей жидкости (в объемных гидроприводах скорости движения жидкостей невелики – порядка 0,5...6 м/с).

Объемный гидропривод – это гидропривод, в котором используются объемные гидромашины (насосы гидромоторы). Объемной называется гидромашина, рабочий процесс которой основан на попеременном заполнении рабочей камеры жидкостью и вытеснении ее из рабочей камеры. К объемным машинам относят, например, поршневые насосы, аксиально-поршневые, радиально-поршневые, шестеренные гидромашины и др. Одна из особенностей, отличающая объемный гидропривод от гидродинамического, – большие давления в гидросистемах. Так, номинальные давления в гидросистемах экскаваторов могут достигать 32 МПа, а в некоторых случаях рабочее давление может быть более 300 МПа, в то время как гидродинамические машины работают обычно при давлениях, не превышающих 1,5...2 МПа.

Объемный гидропривод намного более компактен и меньше по массе, чем гидродинамический, и поэтому он получил наибольшее распространение.

В зависимости от конструкции и типа входящих в состав гидropередачи элементов объемные гидроприводы можно классифицировать по нескольким признакам.

По характеру движения выходного звена гидродвигателя различают:

1) гидропривод вращательного движения, когда в качестве гидродвигателя применяется гидромотор, у которого ведомое звено (вал или корпус) совершает неограниченное вращательное движение;

2) гидропривод поступательного движения у которого в качестве гидродвигателя применяется гидроцилиндр – двигатель с возвратно-поступательным движением ведомого звена (штока поршня, плунжера или корпуса);

3) гидропривод поворотного движения, когда в качестве гидродвигателя применен поворотный гидравлический исполнительный механизм, у которого ведомое звено (вал или корпус) совершает возвратно-поворотное движение на угол, меньший 270° .

По возможности регулирования скорости выходного звена различают следующие виды гидроприводов.

Если скорость выходного звена (гидроцилиндра, гидромотора) регулируется изменением частоты вращения двигателя, приводящего в работу насос, то гидропривод считается нерегулируемым.

Регулируемый гидропривод – это гидропривод, в котором в процессе его эксплуатации скорость выходного звена гидродвигателя можно изменять по требуемому закону.

В свою очередь регулирование может быть:

- дроссельным;
- объемным;
- объемно-дроссельным.

Регулирование может быть: ручным или автоматическим.

В зависимости от задач регулирования гидропривод может быть:

- стабилизированным;
- программным;
- следящим (гидроусилители).

Саморегулируемый гидропривод автоматически изменяет подачу жидкости по фактической потребности гидросистемы в режиме реального времени.

5.5. ОСОБЕННОСТИ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ПРИВОДА, ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ

Пневматический привод (пневмопривод) – совокупность устройств, предназначенных для приведения в движение машин и механизмов посредством энергии сжатого воздуха. Обязательными элементами пневмопривода являются компрессор (генератор пневматической энергии) и пневмодвигатель.

Пневмопривод, подобно гидроприводу, представляет собой своего рода «пневматическую вставку» между приводным двигателем и нагрузкой (машиной или механизмом) и выполняет те же функции, что и механическая передача (редуктор, ременная передача, кривошипно-шатунный механизм и т.д.) [8].

Основное назначение пневмопривода, как и механической передачи, – преобразование механической характеристики приводного двигателя в соответствии с требованиями нагрузки (преобразование вида движения выходного звена двигателя, его параметров, а также регулирование, защита от перегрузок и др.).

Классификация пневмоприводов.

По характеру воздействия на рабочий орган пневмоприводы с поступательным движением бывают:

- двухпозиционные, перемещающие рабочий орган между двумя крайними положениями;
- многопозиционные, перемещающие рабочий орган в различные положения.

По принципу действия пневматические приводы с поступательным движением бывают:

- одностороннего действия, возврат привода в исходное положение осуществляется механической пружиной;
- двухстороннего действия, перемещение рабочего органа привода осуществляется сжатым воздухом.

По конструктивному исполнению пневмоприводы с поступательным движением делятся на:

- поршневые, представляющие собой цилиндр, в котором под воздействием сжатого воздуха либо пружины перемещается поршень (возможны два варианта исполнения: в односторонних поршневых пневмоприводах рабочий ход осуществляется за счет сжатого воздуха, а холостой – за счет пружины; в двухсторонних – и рабочий, и холостой ходы осуществляются за счет сжатого воздуха);

– мембранные, представляющие собой герметичную камеру, разделенную мембраной на две полости; в данном случае цилиндр соединен с жестким центром мембраны, на всю площадь которой и производит действие сжатый воздух (также, как и поршневые, выполняются в двух видах – одно- либо двухстороннем).

Сильфонные применяются реже. Практически всегда одностороннего действия: усилие возврата может создаваться как упругостью самого сильфона, так и с использованием дополнительной пружины. В особых случаях (когда требуется повышенное быстродействие) применяют специальные пневмоприводы – вибрационный пневмопривод релейного типа.

Пневмопривод применяется в основном в системах с цикловым управлением. Функционально такой пневмопривод можно разделить на следующие узлы:

- блок подготовки рабочего тела (воздуха);
- блок распределения сжатого воздуха;
- блок исполнительных двигателей;
- система передачи сжатого воздуха между устройствами привода.

Блок подготовки воздуха является обязательным пневмоприводов. Воздух осушают и очищают от пыли.

Блок распределения сжатого воздуха содержит устройства, с помощью которых по заданной программе можно открыть или закрыть доступ сжатого воздуха в рабочие полости исполнительных двигателей. В качестве распределителей служат устройства, где запорными устройствами служат золотники и клапаны. Обычно используют пневмораспределители с управлением от электромагнитов командоаппаратов. Однако при определенных условиях (взрывоопасная среда, радиация) используются распределители с пневматическим управлением.

В качестве блока исполнительных двигателей используются цилиндры с прямолинейным или вращательным движением поршня одно- или двустороннего действия. На каждую степень подвижности предусматривается свой исполнительный двигатель (пневмоцилиндр), конструкция которого обеспечивает заданные перемещения, скорости и усилия.

Захватное устройство также может иметь двигатель, который обеспечивает захват объекта манипулирования, его удержание при перемещении и освобождение после установки в заданной точке.

Рабочий цикл выполняется каждым двигателем в определенной последовательности в соответствии с требованиями технологического процесса и осуществляется по программе, выполняемой управляющим устройством робота, которое входит в состав СПУ.

В системах передачи сжатого воздуха между устройствами привода используются пневмопроводы различного сечения, рассчитываемого исходя из заданных условий работы.

В общих чертах передача энергии в пневмоприводе происходит следующим образом:

1. Приводной двигатель передает вращающий момент на вал компрессора, который сообщает энергию рабочему газу.

2. Рабочий газ после специальной подготовки пневмолиниям через регулируюшую аппаратуру поступает в пневмодвигатель, где пневматическая энергия преобразуется в механическую.

3. После этого рабочий газ выбрасывается в окружающую среду, в отличие от гидропривода, в котором рабочая жидкость гидролиниям возвращается либо в гидробак, либо непосредственно к насосу.

В зависимости от характера движения выходного звена пневмодвигателя (вала пневмомотора или штока пневмоцилиндра), и соответственно, характера движения рабочего органа пневмопривод может быть вращательным или поступательным. Пневмоприводы с поступательным движением получили наибольшее распространение в технике.

Область и масштабы применения пневматического привода обусловлены его достоинствами и недостатками, вытекающими из особенностей свойств воздуха. В отличие от жидкостей, применяемых в гидроприводах, воздух, как и все газы, обладает высокой сжимаемостью и малой плотностью в исходном атмосферном состоянии, значительно меньшей вязкостью и большей текучестью, причем его вязкость существенно возрастает при повышении температуры и давления. Отсутствие смазочных свойств воздуха и наличие некоторого количества водяного пара, который при интенсивных термодинамических процессах в изменяющихся объемах рабочих камер пневмомашин может конденсироваться на их рабочих поверхностях, препятствует использованию воздуха без придания ему дополнительных смазочных свойств влагопонижения. В связи с этим пневмоприводах имеется потребность кондиционирования воздуха, т.е. придания ему свойств, обеспечивающих работоспособность и продляющих срок службы элементов привода.

С учетом вышеописанных отличительных особенностей воздуха рассмотрим достоинства пневмопривода в сравнении с его конкурентами гидро- и электроприводом.

1. Простота конструкции и технического обслуживания. Изготовление деталей пневмомашин пневмоаппаратов не требует такой высокой точности изготовления и герметизации соединений, как в гидроприводе, так как возможные утечки воздуха не столь существенно снижают эффективность работы и КПД системы. Внешние утечки воздуха экологически без-

вредны и относительно легко устраняются. Затраты на монтаж и обслуживание пневмопривода несколько меньше из-за отсутствия возвратных пневмолиний и применения в ряде случаев более гибких и дешевых пластмассовых или резиновых (резинотканевых) труб. В этом отношении пневмопривод не уступает электроприводу. Кроме того, пневмопривод не требует специальных материалов для изготовления деталей, таких как медь, алюминий и тому подобное, хотя в ряде случаев они используются исключительно для снижения веса или трения в подвижных элементах.

2. Пожаро- и взрывобезопасность. Благодаря этому достоинству пневмопривод не имеет конкурентов для механизации работ в условиях, опасных по воспламенению и взрыву газа и пыли, например, в шахтах с обильным выделением метана, в некоторых химических производствах, на мукомольных предприятиях, т.е. там, где недопустимо искрообразование. Применение гидропривода в этих условиях возможно только при наличии централизованного источника питания с передачей гидроэнергии на относительно большое расстояние, что в большинстве случаев экономически нецелесообразно.

3. Надежность работы в широком диапазоне температур, в условиях пыльной и влажной окружающей среды. В таких условиях гидро- и электропривод требуют значительно больших затрат на эксплуатацию, так как при температурных перепадах нарушается герметичность гидросистем из-за изменения зазоров и изолирующих свойств электротехнических материалов, что в совокупности с пыльной, влажной и нередко агрессивной окружающей средой приводит к частым отказам. По этой причине пневмопривод является единственным надежным источником энергии для механизации работ в литейном и сварочном производстве, кузнечно-прессовых цехах, в некоторых производствах по добыче и переработке сырья и др. Благодаря высокой надежности пневмопривод часто используется в тормозных системах мобильных и стационарных машин.

4. Значительно больший срок службы, гидро- и электропривода. Срок службы оценивают двумя показателями надежности: гамма-процентной наработкой на отказ и гамма-процентным ресурсом. Для пневматических устройств циклического действия ресурс составляет от 5 до 20 млн циклов в зависимости от назначения и конструкции, а для устройств нециклического действия около 10...20 тыс. ч. Это в 2 – 4 раза больше, чем у гидропривода, и в 10 – 20 раз больше, чем у электропривода.

5. Высокое быстродействие. Здесь имеется в виду не скорость передачи сигнала (управляющего воздействия), а реализуемые скорости рабочих движений, обеспечиваемых высокими скоростями движения воздуха. Поступательное движение штока пневмоцилиндра

возможно до 15 м/с и более, а частота вращения выходного вала некоторых пневмомоторов (пневмотурбин) до 100 000 об/мин. Это достоинство в полной мере реализуется в приводах циклического действия, особенно для высокопроизводительного оборудования, например в манипуляторах, прессах, машинах точечной сварки, в тормозных и фиксирующих устройствах, причем увеличение количества одновременно срабатывающих пневмоцилиндров (например в многоместных приспособлениях для зажима деталей) практически не снижает время срабатывания. Большая скорость вращательного движения используется в приводах сепараторов, центрифуг, шлифовальных машин, бормаши и др. Реализация больших скоростей в гидроприводе и электроприводе ограничивается их большей инерционностью (масса жидкости и инерция роторов) и отсутствием демпфирующего эффекта, которым обладает воздух.

6. Возможность передачи пневмоэнергии на относительно большие расстояния по магистральным трубопроводам и снабжение сжатым воздухом многих потребителей. В этом отношении пневмопривод уступает электроприводе, но значительно превосходит гидропривод, благодаря меньшим потерям напора в протяженных магистральных линиях. Электрическая энергия может передаваться по линиям электропередач на многие сотни и тысячи километров без ощутимых потерь, а расстояние передачи пневмоэнергии экономически целесообразно до нескольких десятков километров, что реализуется в пневмосистемах крупных горных и промышленных предприятий с централизованным питанием от компрессорной станции.

Известен опыт создания городской компрессорной станции в 1888 г. одним из промышленников в Париже. Она снабжала заводы и фабрики по магистралям протяженностью 48 км при давлении 0,6 МПа и имела мощность до 18 500 кВт. С появлением надежных электропередач ее эксплуатация стала невыгодной.

Максимальная протяженность гидросистем составляет около 250...300 м в механизированных комплексах шахт для добычи угля, причем в них используется обычно менее вязкая водно-масляная эмульсия.

7. Отсутствие необходимости в защитных устройствах от перегрузки давлением у потребителей. Требуемый предел давления воздуха устанавливается общим предохранительным клапаном, находящимся на источниках пневмоэнергии. Пневмодвигатели могут быть полностью заторможены без опасности повреждения и находиться в этом состоянии длительное время.

8. Безопасность для обслуживающего персонала при соблюдении общих правил, включающих механический травматизм. В гидро- и электроприводах возможно поражение электрическим током или жидкостью при нарушении изоляции или разгерметизации трубопроводов.

9. Улучшение проветривания рабочего пространства за счет отработанного воздуха. Это свойство особенно полезно в горных выработках и помещениях химических и металлообрабатывающих производств.

10. Нечувствительность к радиационному и электромагнитному излучению. В таких условиях электрогидравлические системы практически не пригодны. Это достоинство широко используется в системах управления космической, военной техникой, в атомных реакторах и т.п.

Несмотря на вышеописанные достоинства, применяемость пневмопривода ограничивается в основном экономическими соображениями из-за больших потерь энергии в компрессорах и пневмодвигателях, а также других недостатков, описанных ниже.

1. Высокая стоимость пневмоэнергии. Если гидро- и электропривод имеют КПД, соответственно, около 70 и 90%, то пневмопривод обычно – 5...15%, и очень редко до 30%. Во многих случаях КПД может быть 1% и менее. По этой причине пневмопривод не применяется в машинах с длительным режимом работы и большой мощности, кроме условий, исключающих применение электроэнергии (например, горнодобывающие машины в шахтах, опасных по газу).

2. Относительно большой вес и габариты пневмомашин из-за низкого рабочего давления. Если удельный гидромашин, приходящийся на единицу мощности, в 5 – 10 раз меньше веса электромашин, пневмомашин имеют примерно такой же вес и габариты, как последние.

3. Трудность обеспечения стабильной скорости движения выходного звена при переменной внешней нагрузке и его фиксации в промежуточном положении. Вместе с тем мягкие механические характеристики пневмопривода в некоторых случаях являются и его достоинством.

4. Высокий уровень шума, достигающий 95...130 дБ при отсутствии средств для его снижения. Наиболее шумными являются поршневые компрессоры и пневмодвигатели, особенно пневмомолоты и другие механизмы ударноциклического действия. Наиболее шумные гидроприводы (к ним относятся приводы с шестеренными машинами) создают шум на уровне 85...104 дБ, а обычно уровень шума значительно ниже, примерно как у электромашин, что позволяет работать без специальных средств шумопонижения.

5. Малая скорость передачи сигнала (управляющего импульса), что приводит к запаздыванию выполнения операций. Скорость прохождения сигнала равна скорости звука и, в зависимости от давления воздуха, составляет примерно от 150 до 360 м/с. В гидроприводе и электроприводе, соответственно, около 1000 и 300 000 м/с.

Перечисленные недостатки могут быть устранены применением комбинированных пневмоэлектрических или пневмогидравлических приводов.

5.6. УСТРОЙСТВО МЕМБРАННОГО ПРИВОДА

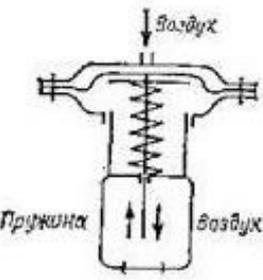
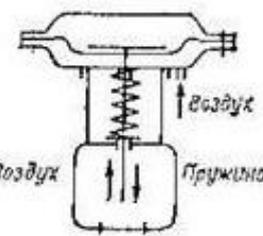
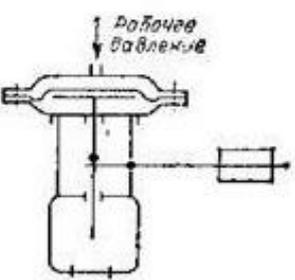
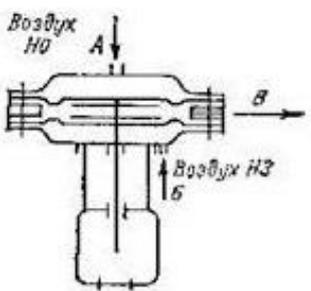
Мембранный привод представляет собой устройство, в котором движение ведомому звену передается под действием давления газа или жидкости на упругую (эластичную) мембрану из резины, полиэтилена, фторопласта или металла. Усилие, создаваемое давлением управляющей среды на мембрану, передается на «грибок», образованный штоком и опорным диском. Прогиб мембраны и ход штока определяются условием равновесия подвижной системы привода, в которую входят грибок и мембрана. Силовое равновесие системы создается в результате действия давления на мембрану и сил сопротивления на шток, включая силу, создаваемую упругой деформацией мембраны. Чтобы обеспечить возможность перемещения штока в обе стороны, силовое замыкание системы выполняется пружиной или грузом. Применяются также беспружинные приводы, в которых подвижная система уравнивается давлением воздуха (газа) на мембранный блок с противоположной стороны.

Принципиальные схемы действия мембранных приводов арматуры приведены в табл. 5.1. В рычажно-грузовых мембранных приводах усилие, создаваемое на мембране, уравнивается постоянной силой, в пружинных – переменной, пропорциональной ходу штока. В беспружинных мембранных приводах давление на мембранный блок (действующее усилие) может регулироваться с обеих сторон. В трубопроводной арматуре мембранный привод обычно применяется с резиновой мембраной. Мембраны изготавливаются из резины толщиной 2...4 мм с тканевой (парусиновой) прослойкой или без прослойки. Для коррозионных сред могут применяться мембраны с покрытием из фторопласта в виде тонкой защитной пленки.

Однозначная зависимость между входным давлением и ходом штока мембранного привода в процессе эксплуатации может меняться из-за изменяющихся сил трения в узлах регулирующего органа и привода. Для устранения этих явлений, а также для увеличения

чувствительности исполнительных механизмов применяют специальные усилители давления с обратной связью по положению штока привода. Подобные усилители называются позиционерами и устанавливаются непосредственно на приводе.

5.1. Схемы действия мембранных приводов

Привод	Схема действия	Область применения
<p>Пружинный: прямого движения (действия)</p>		<p>Регулирующие клапаны общепромышленной арматуры</p>
<p>обратного движения (действия)</p>		
<p>Рычажно-грузовой прямого движения (действия)</p>		<p>Регуляторы давления</p>
<p>Беспружинный (стрелкой А указано буферное давление для клапанов НЗ, стрелкой Б — для клапанов НО, стрелкой В — в атмосферу).</p>		<p>Регулирующие клапаны</p>

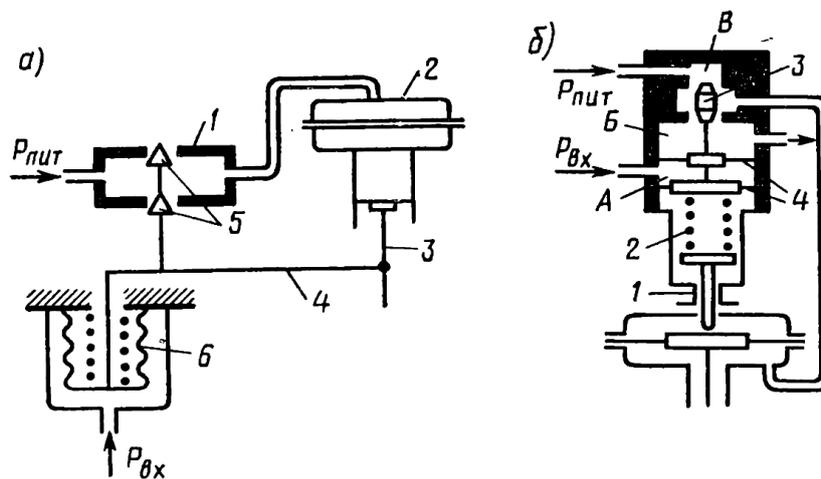


Рис. 5.6. Схемы пневматических позиционеров

По принципу действия пневматические позиционеры подразделяют на позиционеры, работающие по схеме компенсации перемещений и схеме компенсации сил. Схема позиционера, работающего по схеме компенсации перемещений, показана на рис. 5.6, а.

Давление $p_{вх}$ поступает в сильфон 6. Увеличение входного давления приводит к деформации сильфона, что в свою очередь вызывает уменьшение сброса воздуха в атмосферу через клапаны 5 усилителя мощности 1. Поэтому расход воздуха, поступающего от усилителя мощности к приводу 2, увеличивается. При этом шток 3 привода перемещается вниз и увлекает за собой рычаг 4, который приоткрывает клапаны 5 и увеличивает сброс воздуха в атмосферу. Шток 3 перемещается до тех пор, пока не займет положение, пропорциональное поданному входному давлению, с точностью до статической ошибки. Таким образом, обратная связь по положению штока обеспечивает его однозначную установку в положение, соответствующее командному давлению. Это положение не зависит от трения в элементах привода и регулирующего органа.

Большой точностью в работе обладают позиционеры, построенные по схеме компенсации сил (рис. 5.6, б). Входное давление $p_{вх}$ поступает в камеру А и создает усилие на мембранах 4, имеющих разные эффективные площади (у нижней мембраны эффективная площадь больше, чем у верхней). Клапан 3 перемещается вниз и увеличивает подачу воздуха из камеры В в мембранный привод. Давление, действующее на мембрану привода, увеличивается. Последняя прогибается вверх и перемещает шток 1 позиционера. Перемещение штока 1 преобразуется в усилие с помощью пружины 2. Сжатие пружины вызывает на мембранном блоке дополнительное усилие, которое прикрывает клапан 3 и уменьшает давление воздуха, подводимого к мембранному приводу. Равновесие наступает тогда, когда усилие пружины

жины, а следовательно, и положение мембраны и штока мембранного привода станут соответствующими поданному входному давлению воздуха. Через камеру Б воздух выходит в атмосферу при уменьшении входного давления.

Позиционеры, работающие по схеме компенсации перемещений, применяют в основном для мембранных приводов, имеющих большой ход штока (25...100 мм), а позиционеры, построенные по схеме компенсации сил, – для мембранных приводов, ход штока которых составляет 7...25 мм.

Пневматический позиционер ПР 10-25 (рис. 5.7) относится к устройствам с непосредственным присоединением. Чувствительным элементом является мембранная сборка 12, соединяющая две мембраны, имеющие разные эффективные площади воздействия. Командный пневматический сигнал поступает в камеру между мембранами и перемещает сборку из равновесного состояния в сторону мембраны с большей эффективной площадью. Вслед за сборкой под действием пружины 10 перемещается шарик 11 золотникового устройства, перекрывая канал, соединяющий золотниковую камеру с атмосферой.

При перемещении шарика на полный ход ($0,2 \pm 0,03$ мм) давление в золотниковой камере устанавливается равным давлению воздуха питания. Оно подается в рабочую полость исполнительного механизма.

В связи с тем, что перемещение шарика мало, равновесие системы наступает только тогда, когда усилие, развиваемое чувствительным элементом позиционера, равно усилию сжатия пружины обратной связи 13, испытывающей воздействие подвижной системы исполнительного механизма. В момент, когда пружина уравнивает усилие чувствительного элемента, мембраны сборки 12 прогибаются в обратную сторону, и шарик 11 прикрывает подачу сжатого воздуха к исполнительному механизму.

В рабочей полости механизма устанавливается давление, равное командному давлению, а положение штока соответствует величине этого давления с точностью в пределах точностных характеристик позиционера.

Модернизированный вариант приведенного на рис. 5.7 позиционера под шифром П10-25-П входит в серийно выпускаемый ряд пневматических позиционеров, работающих с исполнительными механизмами, ход которых находится в пределах 4...100 мм. Настройка позиционера на величину хода штока исполнительного механизма осуществляется фиксацией определенного числа рабочих витков пружины обратной связи 13 с помощью гайки 14 или подбором пружины определенной жесткости.

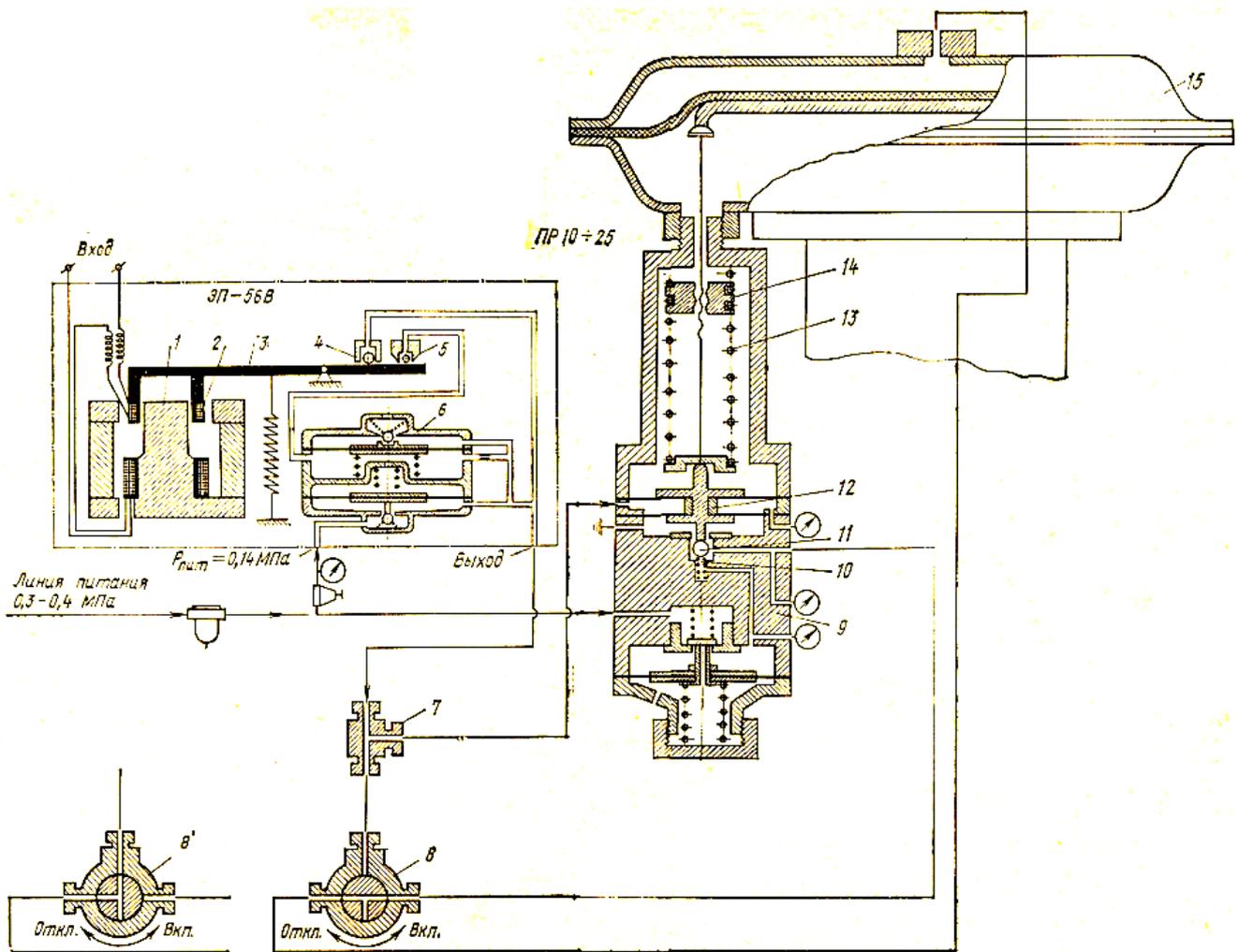


Рис. 5.7. Схема включения пневматического позиционера ПР 10-25:

- 1 – чувствительный элемент; 2 – катушка; 3 – рычаг; 4 – элемент обратной связи;
 5 – сопло; 6 – усилитель; 7 – тройник; 8 – кран переключения при включенном позиционере;
 8' – то же, при отключенном; 9 – позиционер; 10 – пружина; 11 – шарик;
 12 – мембранная сборка; 13 – пружина обратной связи; 14 – гайка;
 15 – мембранный исполнительный механизм

В таблице 5.2 приведены характеристики серийных позиционеров, различающихся пределами настройки условного хода, видом устройства обратной связи, способом присоединения к исполнительному механизму, классом точности и направлением движения выходного звена (П – прямое, ПО – обратное). Обозначение П означает принадлежность к П группе изделий по устойчивости к воздействию температуры и влажности окружающего воздуха.

5.2 Характеристики серийных позиционеров

Шифр позиционера	Пределы настройки условного хода, мм	Устройство обратной связи	Элемент, обеспечивающий присоединение к МИМ	Класс точности
П4-10-Н П10-25-Н	4...10 10...25	Непосредственное	Штуцер	1,5
П10-75-ПА П10-75-НБ	10...75 10...75	Рычажное	Г-образный кронштейн Планка	2,5
ПЮ-100-ПА П10-100-ИБ	10...100 10...100	То же	Г-образный кронштейн Планка	2,5
ПО25-Ю0-ИА ПО25-Ю0-ПБ	25...100 25...100	То же	Г-образный кронштейн Планка	2,5

Лабораторная работа 5

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕМБРАННОГО ПРИВОДА

Цель работы: поучить представление о принципе работы мембранного исполнительного механизма и пневматических позиционеров.

Задание: получить зависимость перемещения штока мембранного исполнительного механизма с позиционером от давления на входе при различных давлениях питания.

Порядок выполнения работы

1. Подсоедините позиционер к давлению питания и входному давлению.
2. Включите компрессор и накачайте воздух в систему.

3. Регулируйте давление на входе позиционера при помощи пневматического редуктора и фиксируйте данные о перемещении и давлении для прямого и обратного хода.

4. Постройте графики зависимости перемещения штока мембранного исполнительного механизма от давления на его входе.

Контрольные вопросы

1. Поясните принцип работы устройства МИМ?
2. От чего зависит представленное усилие МИМ?
3. Укажите достоинства и недостатки МИМ.
4. Для чего используются позиционеры в системах с МИМ?
5. Поясните принцип работы позиционера.
6. Чем определяется расход воздуха, потребляемый для работы МИМ.
7. Каково КПД МИМ?
8. Какие способы увеличения хода штока МИМ существуют?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В учебном пособии приведено изучение устройства и управления электрическими двигателями как постоянного, так и переменного тока. Рассмотрены пусковые схемы электродвигателей переменного тока, а также исследование гидро- и пневмоприводов.

Представленный материал учебного пособия по упомянутым приводам мехатронных систем может быть полезен как для студентов, так и инженерно-технических работников и специалистов, обслуживающего персонала по эксплуатации производственного оборудования, станочных систем с ЧПУ и технологических комплексов металлообработки широкого назначения с управлением от микроЭВМ. Работая над учебным пособием, авторы стремились сделать издание, полезным для разных категорий читателей, желающих научиться самостоятельно и квалифицированно решать умеренно сложные, но практически важные задачи.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Москаленко, В. В.** Системы автоматического управления электропривода / В. В. Москаленко. – М. : Инфра. – М, 2007. – 208 с.
2. **Сенигов, П. Н.** Релейно- контакторное управление асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором. Руководство по выполнению базовых экспериментов / П. Н. Сенигов. – Челябинск : ООО «Учебная техника», 2005. – 88 с.
3. **Системы** автоматизированного управления электроприводами : учебное пособие ; под общ. ред. Ю. Н. Петренко. – Минск : Новое знание, 2007. – 394 с.
4. **Справочник** по автоматизированному электроприводу / под ред. В. А. Елисеева, А. В. Шинянского ; Энергоатомиздат, 1983. – 616 с., ил.
5. **Терехов, В. М.** Системы управления электроприводов / В. М. Терехов, О. И. Осипов. – М. : Издательский центр «Академия», 2005. – 304 с.
6. **Афанасьева, Н. А.** Электротехника электроника : учебное пособие / Н. А. Афанасьева, Л. П. Булат. – СПб. : СПбГУНиПТ, 2009. – 181 с.
7. **Дементьев, Ю. Н.** Электрический привод : учебное пособие / Ю. Н. Дементьев, А. Ю. Чернышев, И. А. Чернышев. – Томск : Изд-во ТПУ, 2010. – 232 с.
8. **Иткина, Д. М.** Исполнительные устройства систем управления в химической нефтехимической промышленности / Д. М. Иткина. – М. : Химия, 1984. – 232 с.
9. **Ибрагимов, И. А.** Элементы и системы пневмоавтоматики / И. А. Ибрагимов, Н. Г. Фарзанае, Л. В. Илясов. – М. : Высшая школа, 1984. – 274 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА.....	4
Лабораторная работа 1	
ПОЛУЧЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ	
ПОСТОЯННОГО ТОКА	12
2. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ДВИГАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА.....	14
Лабораторная работа 2	
ИЗУЧЕНИЕ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО	
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ.....	16
3. ШАГОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ.....	20
Лабораторная работа 3	
ИЗУЧЕНИЕ ШАГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ.....	28
4. ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.....	30
4.1. Пусковые характеристики электродвигателей переменного тока.....	30
4.2. Частотное регулирование скорости вращения двигателя переменного тока...	38
Лабораторная работа 4	
СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ПУСКА ДВИГАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.....	42
5. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ И ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ.....	50
5.1. Основные сведения о гидравлических исполнительных механизмах.....	50
5.2. Принцип действия и работа гидравлических исполнительных механизмов...	51
5.2.1. Конструкции гидроприводов (гидродвигателей).....	52
5.2.2. Управляющие устройства гидравлических исполнительных	54

механизмов.....	
5.3. Объемные гидравлические передачи вращательного движения.....	56
5.4. Классификация гидроприводов	61
5.5. Особенности пневматического привода, достоинства и недостатки.....	63
5.6. Устройство мембранного привода	69
Лабораторная работа 5	
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕМБРАННОГО ПРИВОДА.....	74
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	76
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	77

Учебное электронное издание

САВЕНКОВ Александр Петрович

ЮДАЕВ Виктор Алексеевич

ПРИВОДЫ РОБОТОВ И МЕХАТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Учебное пособие

Редактирование И. В. Калистратовой

Графический и мультимедийный дизайнер Н. И. Кужильная

Обложка, упаковка, тиражирование И. В. Калистратовой

ISBN 978-5-8265-2809-9



Подписано к использованию 27.09.2024.

Тираж 50 шт. Заказ № 101

Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14
Тел./факс (4752) 63-81-08.
E-mail: izdatelstvo@tstu.ru