

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ

ИНСТИТУТ ХОЛОДА И БИОТЕХНОЛОГИЙ



В.А. Балюбаш, В.А. Добряков, В.В. Назарова

СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ

Часть 1

Учебно-методическое пособие



2014

УДК 681.5

Балюбаш В.А., Добряков В.А., Назарова В.В. Средства автоматизации и управления. Ч.1: Учеб.-метод. пособие. – СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2014. – 72 с.

Приведены материалы для выполнения самостоятельной работы при подготовке к лабораторным и практическим занятиям по дисциплине «Технические средства автоматизации» для бакалавров направления 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств очной и заочной форм обучения.

Рецензент: кандидат техн. наук, доц. С.Ф. Демидов

Рекомендовано к печати редакционно-издательским советом Института холода и биотехнологий



В 2009 году Университет стал победителем многоэтапного конкурса, в результате которого определены 12 ведущих университетов России, которым присвоена категория «Национальный исследовательский университет». Министерством образования и науки Российской Федерации была утверждена программа его развития на 2009–2018 годы. В 2011 году Университет получил наименование «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики».

© Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2014

© Балюбаш В.А., Добряков В.А., Назарова В.В., 2014

Введение

Качество функционирования систем автоматизации в значительной мере зависит от использованной в ней элементной базы (технических средств автоматизации).

По конструктивным и функциональным признакам технические средства автоматизации (ТСА) подразделяют на элементы и устройства. Элементы выполняют одну простейшую операцию с сигналами, а для сложных преобразований сигналов (выполнения математических операций, кодирования, дешифрования, запоминания многоразрядных кодов) служат совокупности, определённым образом соединённых элементов, называемых устройствами или узлами. Совокупность же элементов, устройств (узлов) и объекта для реализации всей поставленной задачи представляет собой систему автоматизации (следящая система, система автоматического контроля, АСУТП и др.).

Элементы автоматики классифицируют по разным признакам. По назначению различают чувствительные (измерительные), промежуточные и исполнительные элементы. Характеристики и свойства чувствительных элементов рассматриваются в другом курсе нашей учебной программы, а в курсе ТСА мы подробно рассмотрим характеристики и свойства промежуточных и исполнительных элементов.

Промежуточные элементы служат для преобразования значения или физической природы сигнала, поступающего от чувствительного элемента, в сигнал, обеспечивающий работу исполнительного элемента, который осуществляет управляющее воздействие непосредственно на объект автоматизации.

По наличию вспомогательного источника энергии элементы делят на активные, в которых входная величина только управляет, как, например, в усилителях, поступлением энергии вспомогательного источника на выход элемента, и пассивные, в которых энергия выходного сигнала является частью энергии входного сигнала, как, например, у регуляторов прямого действия.

По виду энергии вспомогательного источника элементы разделяют на электрические, механические, пневматические, гидравлические и комбинированные. По виду статистической характеристики «вход – выход» элементы делят на непрерывные, у которых плавному изменению входной величины соответствует плавное изменение выходной, и дискретные, когда при плавном изменении входной вели-

чины, выходная претерпевает скачкообразные изменения (двухпозиционное реле). По виду уравнений статики и динамики различают линейные и нелинейные элементы. По принципу действия элементы подразделяют на электрические, пневматические, гидравлические, механические. По реакции на изменение знака или фазы входного сигнала элементы относят к реверсивным, если при этом изменяется полярность или фаза выходного сигнала, и нереверсивным, в противном случае. Можно классифицировать элементы и по другим признакам.

Каждому значению входного сигнала элемента соответствует определённое значение сигнала на его выходе. Зависимость «вход - выход» в установившемся режиме определяет статистическую характеристику элемента. Так как возмущающие и управляющие воздействия на систему изменяются во времени, то входные и выходные сигналы её элементов также непостоянны, то есть значительную часть времени система и её элементы работают в переходном режиме.

Так как реальным элементам присуща инерционность, то при временном изменении входного сигнала, соответствующий каждому его значению выход, по статической характеристике устанавливается не сразу, а спустя некоторое время, определяемое динамическими свойствами элемента. Динамические свойства элементов, то есть изменение их свойств во времени в переходном режиме, определяются с помощью дифференциальных уравнений, представляющих собой математическое описание динамических процессов, протекающих при функционировании элементов и, называемых уравнениями динамики. Составляются уравнения динамики на основе глубокого анализа физических явлений при функционировании элементов, а решение их позволяет оценить динамические свойства элементов.

Для обеспечения техническими средствами систем контроля, управления и регулирования технологическими процессами различные отрасли народного хозяйства, создана Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации (ГСП).

В основу создания и совершенствования ГСП положены следующие системотехнические принципы:

- типизация и минимизация;
- многообразие функций автоматического контроля;
- многообразие функций управления и регулирования;

- минимизация номенклатуры технических средств;
- блочно – модульное построение систем управления на базе унифицированных приборов и устройств;
- совместимость приборов и устройств.

Минимизация номенклатуры средств контроля и управления реализуется на основе двух идей:

- унификация устройств одного функционального назначения;
- агрегатирование комплекса технических средств для решения крупных функциональных задач.

Процесс минимизации начинается с отбора некоторых основных параметров приборов и устройств, выделения из их числа главного параметра и установления минимально необходимого числа устройств для перекрытия всего диапазона изменения главного параметра.

Агрегатные комплексы (АК) представляют собой совокупность технических средств, охватывающих требуемые диапазоны измерения в различных условиях эксплуатации и, обеспечивающих выполнение всех функций в пределах заданного класса задач.

При проектировании изделий ГСП, исключая уровень чувствительных элементов (датчиков), в качестве конструктивной основы используют унифицированные типовые (модульные) конструкции (УТК). Все детали и узлы комплекса разделены на четыре категории изделий таким образом, что элементы изделий низшего порядка предназначены для преобразования в элементы изделий высшего порядка.

Заложенные в ГСП общие для всех изделий понятия совместимости можно сформулировать следующим образом:

- информационная совместимость – это совокупность стандартизированных характеристик, обеспечивающих согласованность сигналов связи по виду и номенклатуре, их информативным параметрам, уровням, пространственно – временным соотношениям, логическим соотношениям, типу логики. Для всех изделий ГСП приняты унифицированные сигналы связи и единые интерфейсы – совокупность программных и аппаратных средств, обеспечивающих взаимодействие устройств в системе;
- конструктивная совместимость – это совокупность свойств, обеспечивающих способность конструктивных параметров и механическое сопряжение технических средств, а также выполнение эр-

гономических норм и эстетических требований при совместном использовании;

- эксплуатационная совместимость – совокупность свойств, обеспечивающих работоспособность и надёжность функционирования технических средств при совместном использовании в производственных условиях, а также удобство обслуживания, настройки и ремонта.

- метрологическая совместимость – совокупность выбранных метрологических характеристик и свойств средств измерений, обеспечивающих сопоставимость результатов измерений и возможность расчёта погрешности результатов измерений, при работе технических средств в составе системы.

По роду используемой энергии носителя информационных сигналов устройства ГСП делятся на:

- электрические;
- пневматические;
- гидравлические;
- устройства, работающие без использования вспомогательной энергии – приборы и регуляторы прямого действия.

Для того чтобы обеспечить совместную работу устройств различных групп, применяют промежуточные преобразователи сигналов.

Достоинствами электрических приборов являются, в первую очередь, высокая чувствительность, точность, быстродействие, удобство передачи, хранения и обработки информации. Пневматические приборы обеспечивают повышенную безопасность при применении в легко воспламеняемых и взрывоопасных средах, в агрессивной атмосфере и в помещениях с повышенной влажностью воздуха. Однако они уступают электрическим приборам по быстродействию, возможности передачи сигнала на большие расстояния. Гидравлические приборы позволяют получать точные перемещения исполнительных механизмов.

В технической документации наиболее широко используется такой классификационный признак, как тип изделия – совокупность изделий одинакового функционального назначения и принципа действия, сходных по конструктивному исполнению и имеющих одинаковые главные параметры. Другой признак – модификация – совокупность изделий одного типа, имеющих определённые конструк-

тивные особенности или определённые значения неглавного параметра. Под исполнением обычно понимают изделия одного типа, имеющие определённую конструктивную особенность, влияющую на их эксплуатационные характеристики, например, обыкновенное или пылевлагозащищённое исполнение.

Более крупная классификационная группировка, чем тип, это комплекс. В ГСП различают два типа комплексов:

- унифицированные;
- агрегатные.

Отличительной особенностью унифицированного комплекса является то, что любые сочетания технических средств комплекса между собой не приводят к реализации этими средствами новых функций. В агрегатных комплексах сочетанием технических средств можно реализовать новые функции.

ГСП представляет собой большой, сложный и непрерывно развивающийся комплекс приборов и устройств, серийно выпускаемых промышленностью и, предназначенных для автоматизации контроля, регулирования и управления различными технологическими процессами и оборудованием.

По функциональному признаку все изделия ГСП разделены на следующие группы устройств:

- получения информации о состоянии процесса или объекта;
- приёма, преобразования и передачи информации;
- формирования команд управления;
- использования командной информации.

В первую группу устройств входят датчики, нормирующие преобразователи, формирующие унифицированный сигнал связи. Приборы, обеспечивающие представление измерительной информации.

Вторая группа устройств содержит коммутаторы измерительных цепей, преобразователи сигналов и кодов, шифраторы и дешифраторы, согласующие устройства, средства телесигнализации, телеизмерения и телеуправления. Эти устройства используют для преобразования как измерительных, так и управляющих сигналов.

Третью группу составляют анализаторы сигналов, функциональные и операционные преобразователи, логические устройства и устройства памяти, задатчики, регуляторы, управляющие вычислительные устройства и комплексы.

В четвёртую группу входят исполнительные устройства – электрические, пневматические, гидравлические или комбинированные исполнительные механизмы, усилители мощности вспомогательные устройства к ним, а также устройства представления информации.

Обмен информацией между техническими средствами ГСП реализуется при помощи сигналов связи и интерфейсов. Информационные сигналы могут быть представлены в естественном или унифицированном виде.

Естественным сигналом называется сигнал чувствительного элемента (датчика), вид и диапазон изменения которого определяется физическими свойствами элемента.

У унифицированного сигнала вид носителя информации и диапазон его изменения не зависит от измеряемой величины и метода измерения.

Из электрических сигналов наиболее распространены унифицированные сигналы постоянного тока и напряжения.

Частотные сигналы используют в телемеханической аппаратуре. Сигнал взаимной индуктивности применяют в датчиках теплоэнергетических параметров, что обеспечивает высокую надёжность и устойчивость к воздействию окружающей среды при простоте конструкции. Импульсные сигналы используют для контроля состояния двухпозиционных устройств, а также для передачи командных сигналов.

При создании сложных систем, особенно на базе микропроцессорных устройств и вычислительных средств, обмен информацией между техническими средствами верхнего уровня осуществляется с помощью интерфейсов.

По определению интерфейс состоит из программной и аппаратной частей. Программная (информационная) часть определяет порядок обмена сигналами и информацией (алгоритмы, временные диаграммы и т.д.). Аппаратная часть (интерфейсные карты, платы) позволяют осуществлять информационный обмен управляющими, адресными, известительными и другими сигналами между функциональными модулями.

Интерфейсы определяют скорость сбора информации, загрузки памяти ЭВМ или контроллера, стоимость аппаратуры, поэтому в на-

стоящее время ведутся интенсивные работы по созданию рациональных интерфейсов.

1. Исполнительные устройства

В структурах систем автоматического управления, управляющее воздействие на технологический объект (ТО), формируемое управляющим устройством, реализуется исполнительным устройством. Оно представляет собой совокупность исполнительного механизма (ИМ) и рабочего органа (РО). ИМ предназначен для совершения работы по перемещению РО, влияющего на физические характеристики ТО управления. По энергетическим показателям ИМ подразделяются на электрические, пневматические и гидравлические. Электрические ИМ делятся на электромагнитные и электродвигательные. Пневматические - на: поршневые и мембранные. В качестве гидравлических ИМ применяются силовые цилиндры, аналогичные поршневым пневматическим, но, имеющие конструктивные особенности. Классификация РО, используемых в составе исполнительных устройств на производстве, будет представлена ниже.

2. Электромагниты

2.1. Электромагниты постоянного тока

Электромагнит (ЭМ) – это источник магнитного поля в виде ферромагнитного сердечника из магнитомягкого материала с обмоткой, обтекаемой током.

ЭМ широко применяются в различных электромеханических устройствах, действие которых происходит, вследствие, притяжения подвижной ферромагнитной части устройства (якоря) к неподвижной части (сердечнику) магнитопровода. Электромагниты подразделяются на ЭМ постоянного и переменного тока. ЭМ постоянного тока подразделяются на нейтральные (рис. 1) и поляризованные.

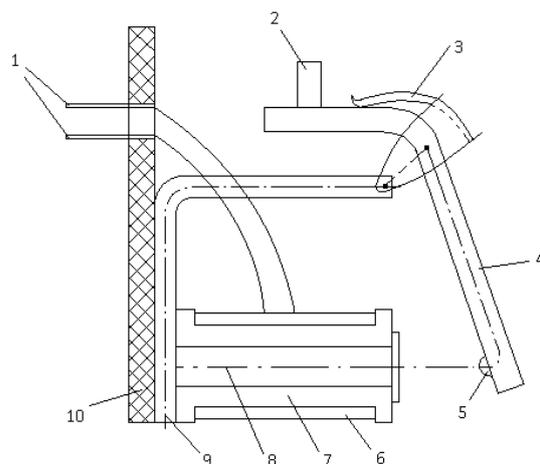


Рис.1

В системах автоматики ЭМ применяют в качестве чувствительных, промежуточных и исполнительных элементов, предъявляя в каждом случае определённые требования к их чувствительности, стабильности нуля, линейности и стабильности характеристик «вход – выход», значениям мощности и КПД.

По конструктивным признакам ЭМ классифицируются: клапанного типа, с втягивающимся якорем, с поперечно-движущимся якорем, ЭМ – с поворотным якорем.

2.2. Тяговая и механическая характеристики ЭМ

Статическая тяговая характеристика – это зависимость электромагнитного усилия, действующего на якорь, от его положения, исчисляемого значением рабочего зазора, при неизменной МДС (рис. 2).

В режиме холостого хода, т.е. при отсутствии полезной нагрузки, когда движению якоря не противодействуют силы трения, демпфирования и инерции, скорость движения максимальна, а энергия, превращаемая в механическую, минимальна.

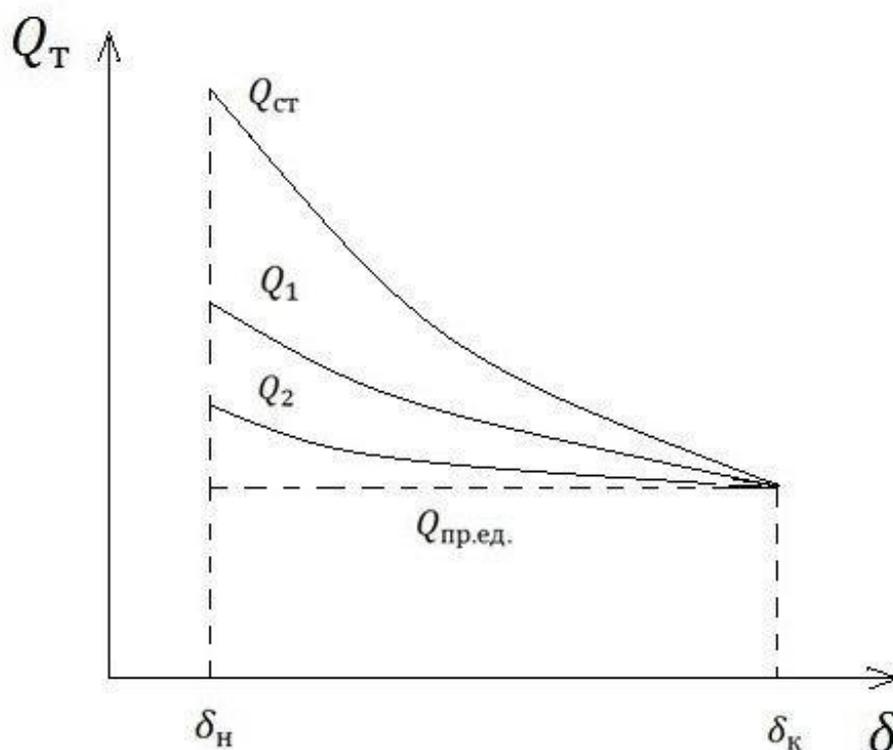


Рис. 2

Между статической и предельной динамической тяговыми электромеханическими характеристиками при одном и том же напряжении лежит множество динамических тяговых характеристик (Q_1, Q_2), определяемых видом механических характеристик ЭМ.

Под механической характеристикой ЭМ или, противодействующей, понимают зависимость $Q_{\text{мех}}(\delta)$, результирующей силы сопротивления движению якоря, приложенной к нему и приведённой к рабочему зазору δ , от величины последнего (или момента сопротивления от угла поворота якоря).

2.3. Динамика электромагнита

Под инерционностью ЭМ понимают запаздывание перемещения якоря по сравнению с изменениями входного напряжения. Она определяется отставанием изменения тока в обмотке от изменения приложенного к ней напряжения и механической инерцией якоря, и связанных с ним подвижных частей. Динамические свойства ЭМ

как элемента дискретного действия характеризуются временными параметрами: временем срабатывания $t_{срб}$ и временем отпущения $t_{отп}$ (рис. 3).

$$i = I_{уст} (1 - e^{-t/\tau_n}),$$

где τ_n – электромагнитная постоянная времени обмотки.

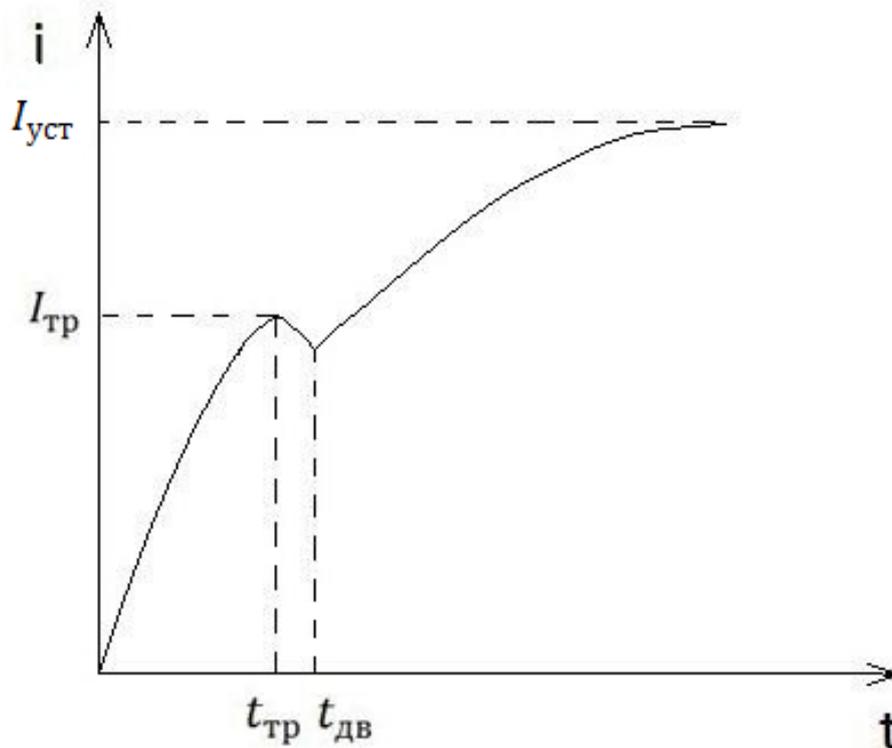


Рис. 3

2.4. Электромагниты поляризованные

Принципиальное отличие поляризованных электромагнитов от нейтральных состоит в зависимости направления перемещения якоря от полярности управляющего напряжения U_p прикладываемого к рабочей обмотке (рис. 4).

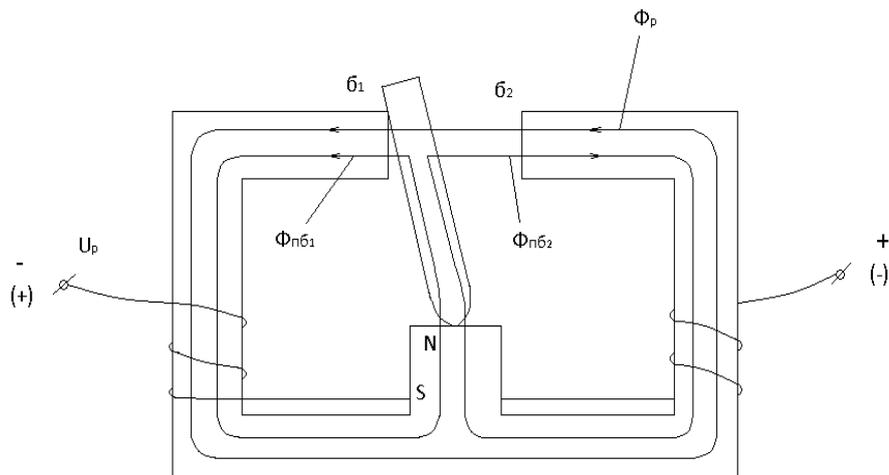


Рис. 4

Это достигается наведением двух магнитных потоков: Φ_p – создаваемого постоянным напряжением полярность которого может меняться, и поляризующего Φ_n образуемого или постоянным магнитом, или электромагнитом постоянного тока с неизменной полярностью питающего напряжения.

Различают три основные конструктивные схемы магнитопроводов: последовательную, параллельную (дифференцированную) и мостовую.

2.5. Электромагниты переменного тока

Якорь ЭМ притягивается и в том случае, если на обмотку подаётся переменное напряжение. Учитывая, что магнитный поток в магнитопроводе будет синусоидальным и, используя уравнение Максвелла определим:

$$Q_{Tm} = Q_{Tm} \sin^2 \omega t \left(Q_T = \frac{\Phi_0^2}{2\mu_0 S} \right),$$

где Q_{Tm} – амплитуда тягового усилия, неизменного по знаку, но пульсирующего с удвоенной частотой.

Значит, в общем случае ЭМ постоянного тока при прочих равных условиях развивает большую силу притяжения, чем ЭМ переменного тока.

Вид тяговой характеристики ЭМ переменного тока определяется соотношением активного и индуктивного сопротивлений обмотки (рис. 5).

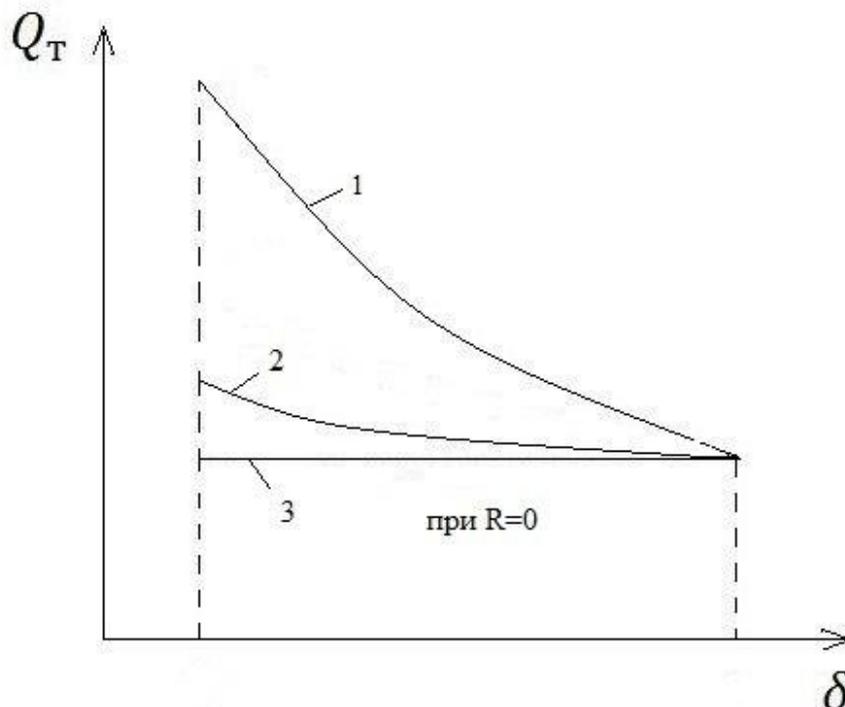


Рис.5

Так как зависимость тягового усилия от магнитного потока имеет синусоидальный характер, то в некоторые моменты времени тяговое усилие Q_T обращается в 0. При наличии противодействующей силы $Q_{мех.}$, стремящейся оторвать якорь от сердечника и изменяющейся в соответствии с механической характеристикой ЭМ, может возникнуть вибрация якоря. При частоте переменного тока 50 Гц якорь совершает 100 колебаний в секунду, что нежелательно и приводит к повышенному износу при механическом взаимодействии якоря и сердечника, а также возникает шум.

Одно из эффективных средств против вибрации якоря – уменьшение пульсаций тягового усилия с помощью магнитных экранов (коротко замкнутых витков), охватывающих часть сечения магнитопровода (рис. 6).

Можно доказать, что создаваемые ими тяговые усилия Q_{Ta} и Q_{Tb} сдвинуты на некоторый угол 2α и значит обращаются в 0 неод-

новременно, отсюда следует, что результирующее тяговое усилие $Q_T = Q_{Ta} + Q_{Tb}$ в любой момент времени не равно нулю.

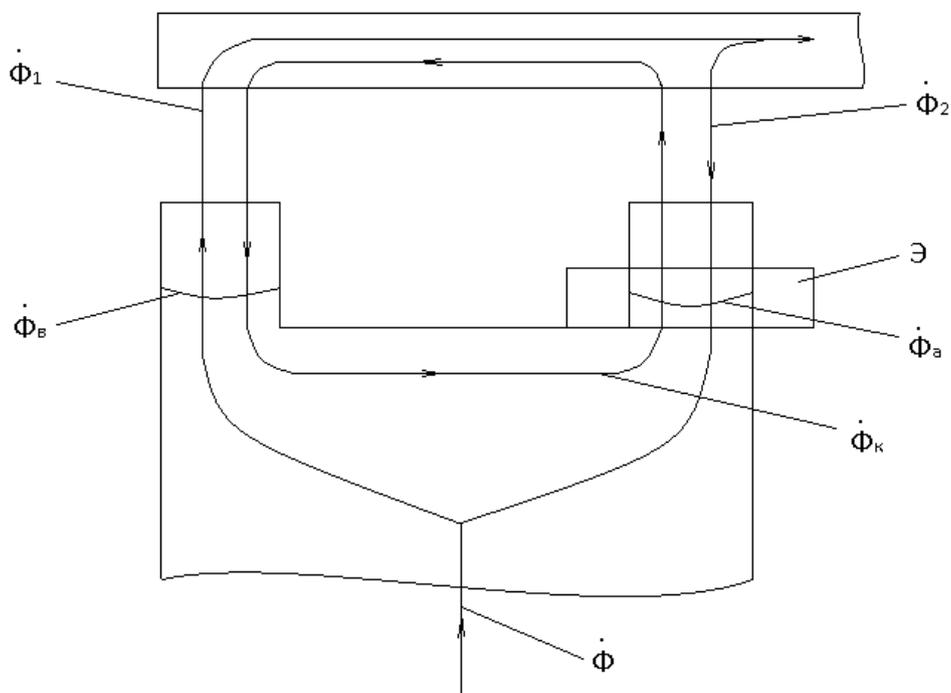


Рис. 6

Для исключения вибрации якоря можно использовать 2-или 3-фазные ЭМ с токами в обмотках сдвинутыми по фазе по отношению друг к другу.

Если с якорем сочленены инерционные элементы (механизмы), то он утяжеляется, что предотвращает вибрацию с частотой 2ω . Однако чувствительность ЭМ при этом снижается.

3. Электромагнитные муфты

Электромагнитные муфты осуществляют передачу вращающего момента с ведущего вала (вала приводного двигателя чаще всего) на соосный ведомый вал (вал приводимого механизма, механической нагрузки). Ниже (рис. 7) представлена их классификация.



Рис. 7

Управляемые муфты по виду статической характеристики скорость вращения ведомого вала – сигнал управления бывают релейными и аналоговыми. Первые после подачи сигнала управления осуществляют жёсткое сцепление валов, а вторые – гибкое сцепление (скорость ведомого вала нарастает плавно).

Фрикционные муфты (ФМ) – предназначены в основном для жёсткого сцепления валов. Гибкое сцепление возможно только путём импульсного управления. Они являются муфтами сухого трения с механической связью, характеризуются большим разнообразием конструкций и схем управления.

На рис. 8 представлена однодисковая нереверсивная ФМ, состоящая из двух цилиндрических полумуфт.

Основное достоинство – простота конструкции, но при росте передаваемого вращающего момента, значительно увеличиваются её размеры.

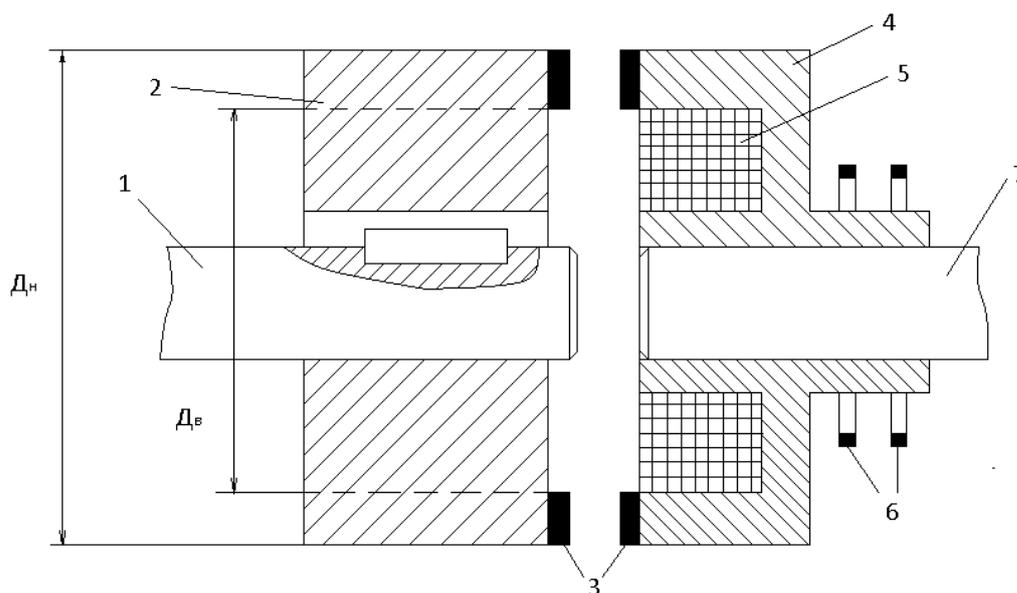


Рис. 8

При прочих равных условиях габариты значительно меньше у многодисковых ФМ. Большой передаваемый момент связан с необходимостью увеличивать D_n . Если же предусмотреть в ФМ несколько дисков $m > 2$, то при прочих равных условиях значение D_n существенно уменьшается с ростом m .

$$D_H = \sqrt[3]{M / [0,26 k_{тр} \sigma_{доп.} (1 - k_R^3) (m - 1)]}$$

где $k_R = R_B/R_H$; $\sigma_{доп.}$ – допустимое удельное давление;
 $k_{тр.}$ – коэффициент трения.

3.1. Ферропорошковые муфты

Предназначены для гибкого сцепления валов. Конструктивное отличие ферропорошковых муфт (ФПМ) с сухим или жидким наполнителем и электромагнитным управлением от рассмотренных выше фрикционных муфт заключается в том, что, во-первых, полумуфта на ведомом валу посажена жёстко и, во-вторых, неизменный воздушный зазор заполнен магнитодиэлектриком (сталь, легированная хромом или никелем, карбонильное железо, пермаллой и др.) (рис. 9).

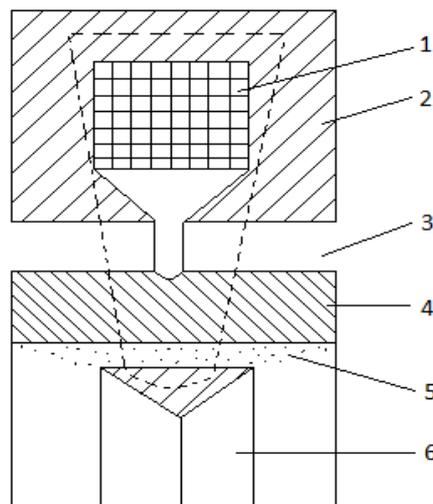


Рис. 9

В ФПМ при данном токе магнитные связи выдерживают определённый предельный момент сопротивления M_c ; при $M < M_c$ эти связи разрушаются, муфта начинает проскальзывать, связи опять восстанавливаются и рвутся и т.д. Из-за такого импульсного воздействия частоты вращения ω_1 и ω_2 неравны и ведомый вал вращается со скольжением.

3.2. Муфты скольжения

Они предназначены в основном для гибкого сцепления валов и регулирования частоты вращения ведомого вала при нерегулируемом приводном двигателе. Их называют также асинхронными, индукционными, муфтами со связью через поле с электромагнитным управлением.

4. Герконы (герметизированные магнитоуправляемые контакты)

Герконы могут быть замыкающими, размыкающими или переключающими: сухими (с твердыми контактами) и жидкометаллическими с контактами смоченными ртутью, что позволяет достичь наибольшей коммутируемой мощности до 250 Вт и максимальной износоустойчивости (число включений 10^8), избежать разрывов при вибрации контактов, стабилизировать их переходные сопротивления и др.; нейтральными и поляризованными, язычковыми, мембранными, с жёстким подвижным контактным сердечником и возвратной пружиной и без неё (рис. 10, а–в).

В простейшем герконе пластины (стержни) выполняют функции участка магнитопровода, отключающих пружин, участка управляемой электрической цепи и контактов.

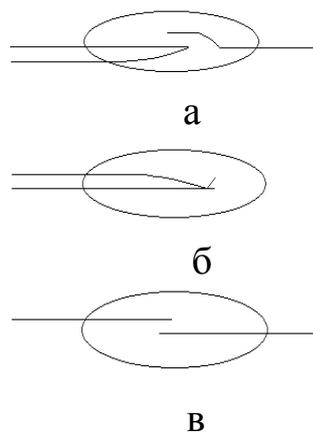


Рис. 10 (а–в)

Кроме рассмотренных в герконных реле применяют дифференциальные и мостовые магнитные системы, с помощью нескольких обмоток (или постоянных магнитов) реализуют различные логические функции; разработаны схемы силовых герконов (герсиконов), герконов с памятью (гезаконов), многоконтактных герконов и др.

Герконные реле в общем случае могут иметь несколько контактов и обмоток, внешние магнитопроводы, поляризирующие постоянные магниты, экраны, от воздействия внешних магнитных полей и др. конструктивные элементы.

Ферриды – герметизированные магнитоуправляемые контакты с элементами магнитной памяти. В отличие от герконов, выполняющих функцию памяти с помощью постоянных магнитов и управляющих сигналов длительностью десятые доли миллисекунд, в ферридах длительность последних уменьшена до десятков микросекунд.

5. Магнитные усилители

Электромагнитное устройство, основной частью которого являются дроссели насыщения (ДН), соединенные по определенной схеме, представляют собой магнитный усилитель (МУ), если это устройство предназначено для усиления сигналов.

Дросселем насыщения называют ферромагнитный сердечник, с двумя обмотками, одна из которых предназначена для питания переменным током одной частоты, а другая постоянным током или переменным током другой, существенно отличной частоты. Обмотка более низкой частоты или постоянного тока называется обмоткой подмагничивания или управления, а более высокой частоты – рабочей обмоткой.

В магнитном усилителе используется зависимость магнитной проницаемости ферромагнитных материалов для переменного магнитного потока от подмагничивающего постоянного магнитного поля или другого переменного поля отличной частоты ($f_p \geq 5f_y$) с целью усилить входной сигнал.

Магнитным усилителем называется усилитель электрических сигналов, действие которого основано на использовании нелинейности характеристик ферромагнитных материалов.

Простейшие магнитные усилители без обратной связи выполняются в виде двух одинаковых трансформаторов (рис. 11).

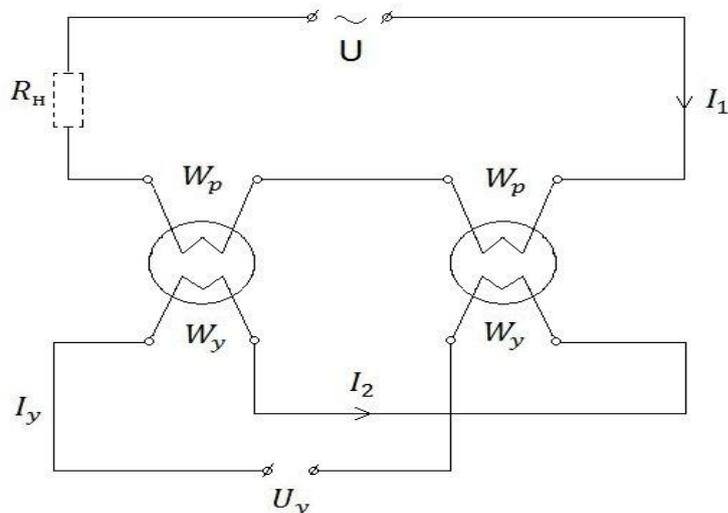


Рис. 11

Изменяя степень магнитного насыщения сердечников путём подмагничивания их постоянным током, можно в широких пределах изменять индуктивность рабочих обмоток.

Усиливающий сигнал постоянного тока поступает (I_y) в управляющие обмотки ω_y трансформаторов и вследствие нелинейности характера кривой намагничивания сердечников вызывает уменьшение их магнитной проницаемости и пропорциональное уменьшение индуктивности L_1 рабочих обмоток.

Токи I_1 и I_2 протекающие соответственно в рабочей и управляющей обмотках трансформаторов, создают магнитные поля, которые в течение одного полупериода переменного тока в одном из сердечников имеют одинаковые, а в другом – противоположные направления.

В результате первый сердечник насыщается, а второй остаётся ненасыщенным.

Для ненасыщенного сердечника справедливо уравнение обычного трансформатора:

$$I_1 \omega_p = I_\mu \omega_p + I_2 \omega_y,$$

где I_μ – намагничивающий ток трансформаторов.

При отсутствии сигнала на входе усилителя $I_2 = 0$ и $I_1 = I_\mu$, среднее значение тока нагрузки имеет минимальное значение, равное току холостого хода трансформатора I_{xx} .

При наличии существенного сигнала I_y на входе усилителя можно пренебречь слагающей $I_\mu \omega_p$ в правой части уравнения по сравнению с $I_2 \omega_y$. Тогда, интегрируя, в пределах полупериода, в течение которого рассматриваемый сердечник не насыщен, получим

$$I_H \approx \frac{\omega_y}{\omega_p} I_y,$$

т.е. ток нагрузки определяется лишь током управления и конструктивными параметрами усилителя и не зависит от нагрузки.

Существенным недостатком таких магнитных усилителей является их относительно высокая инерционность, которую характеризуют постоянной времени T_y цепи управления.

Лучшими динамическими характеристиками, т.е. меньшей инерционностью при данном k_p , обладают магнитные усилители с самонасыщением.

Основными различительными признаками магнитных усилителей являются:

статическая характеристика – одноктные (нереверсивные) и двухтактные (реверсивные);

способ осуществления обратной связи – без ОС и с ОС (внешней, внутренней, смешанной) и т.д.

Двухтактные магнитные усилители с выходом на несущей частоте применяются в основном для управления двигателями переменного тока и их реверсирования. Двухтактные магнитные усилители с выходом на постоянном токе используются для управления двигателями постоянного тока и их реверсирования, а также для управления полем генератора постоянного тока, поляризованными электромагнитными реле, муфтами и т.д.

Система управления магнитный усилитель-двигатель постоянного тока имеет недостаток, заключающийся в низких энергетических показателях реверсивных систем, поэтому промышленностью выпускаются только комплектные нереверсивные приводы системы магнитный усилитель-двигатель. Магнитные усилители применяют в приводах переменного тока для питания двухфазных двигателей.

5.1. Трансформаторы

Трансформатор служит для преобразования электрической энергии переменного тока с одними значениями параметров (напряжение, ток, их форма, число фаз) в электрическую энергию с другими значениями параметров при неизменной частоте.

По назначению трансформаторы подразделяются на:

Силовые – для передачи электроэнергии на большие расстояния; обеспечения стандартного выходного напряжения в вентилях преобразователях, выпрямляющих переменный ток или преобразующих постоянный ток в переменный (инверторы); сварка; питания электротермических установок и пр.

Малой мощности – трансформаторы питания для устройств автоматики и телемеханики, связи, цепей радио и телевизионной аппаратуры.

Пик трансформаторы – для преобразования синусоидальной формы напряжения в пикообразную.

Измерительные трансформаторы тока и напряжения для расширения пределов измерения амперметров, вольтметров, ваттметров и обеспечения безопасности обслуживающего персонала.

Импульсные трансформаторы для преобразования сигналов в импульсных схемах.

Трансформаторы питания работают на частоте 50 Гц и выше, рассчитываются на невысокие напряжения и мощность до нескольких кВА, выполняются 2-, 3-и многообмоточными.

Основные части трансформатора: магнитопровод (сердечник) и расположенные на нём обмотки.

Магнитопровод усиливает электромагнитную связь между обмотками. Для уменьшения потерь на вихревые токи сердечники делают шихтованными из изолированных пластин электротехнической стали или ленточными при частоте 50 Гц. В высокочастотных и импульсных трансформаторах применяют прессованные сердечники из ферритов. Направления ЭДС (E), наводимых в обмотках, зависят от направления намотки их витков. Различают правые и левые обмотки. Если обмотки, находящиеся на одном магнитопроводе, имеют одинаковое направление намотки витков, то наведённое в них E_1 и E_2 совпадают по фазе, если же они имеют разные направления, то их ЭДС будут находиться в противофазе, т.е. сдвинуты на 180° . Применяются

различные системы охлаждения. В системах автоматики чаще всего применяют однофазные силовые трансформаторы малой мощности и трансформаторы питания с воздушным охлаждением.

Работа любого трансформатора основана на явлении электромагнитной индукции (рис. 12).

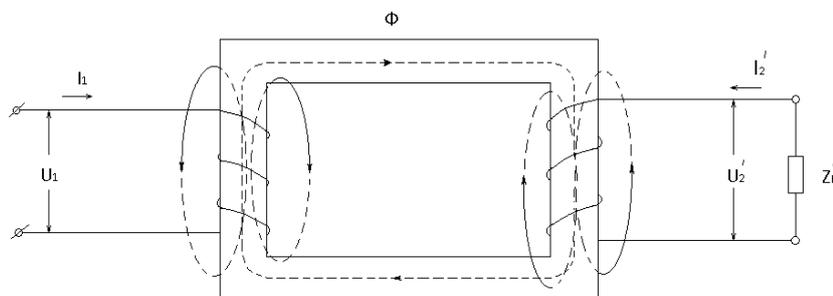


Рис. 12

Если к первичной обмотке трансформатора подвести напряжение U_1 при разомкнутой вторичной обмотке (холостой ход), то по первичной обмотке потечёт ток холостого хода i_o , который вызовет появление МДС $i_o w_1$ первичной обмотки, а последняя в свою очередь создаст магнитный поток Φ в сердечнике.

Этот поток сцеплен с обеими обмотками, поэтому в первичной обмотке наводится ЭДС

$$e_1 = -w_1 (d\Phi/dt) ,$$

а во вторичной

$$e_2 = -w_2 (d\Phi/dt) .$$

Если ко вторичной обмотке подключить нагрузочное сопротивление $z'_н$, то по обмотке потечёт ток I_2 , а его МДС $i_2 w_2$ создаст магнитный поток Φ_2 , направленный встречно по отношению к основному потоку Φ . Появляется результирующий поток, который почти равен потоку Φ , при холостом ходе, т.к. размагничивающее действие потока Φ_2 компенсируется увеличением МДС $i_1 w_1$ на величину $i_2 w_2$. Помимо основного потока в трансформаторе существуют потоки

рассеивания, так как потоки рассеивания и активные сопротивления обмоток трансформатора малы, действующие значения напряжения U_1 и ЭДС E_1 приближённо равны

$$U_1 \approx E_1 = 4,44 w_1 f \Phi$$

$$U_2 \approx E_2 = 4,44 w_2 f \Phi$$

$$E_1 / E_2 = w_1 / w_2 = k - \text{коэффициент трансформации.}$$

Автотрансформаторы – трансформаторы у которых часть обмотки принадлежит одновременно и первичной и вторичной системам (рис. 13).

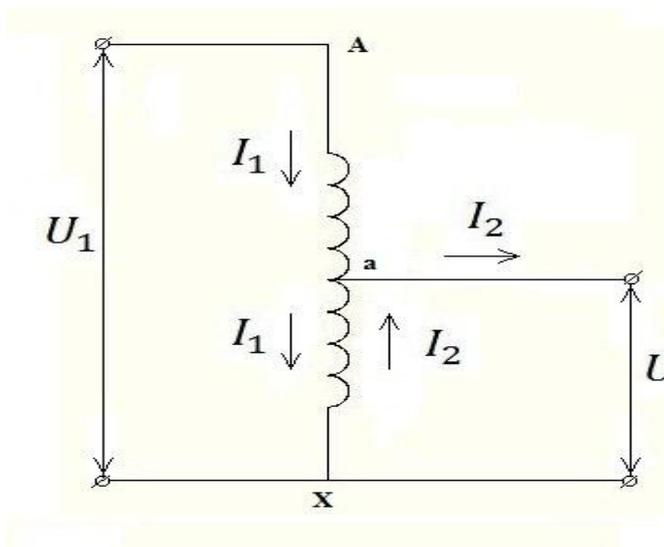


Рис. 13

В автотрансформаторе ток I_1 течёт только по части обмоток автотрансформатора. По общей обмотке в автотрансформаторах течёт ток $I_{ax} = I_1 + I_2 = I_2 (1 - k)$, т.к. $I_1 = -I_2 / k_{ат}$.

Таким образом в понижающем автотрансформаторе ток I_{ax} течёт по общей части обмотки а – х в направлении обратном току I_1 и согласно с током I_2 . Преимуществом автотрансформатора является меньшие изменения (отклонения) трансформируемого напряжения и больший КПД.

Недостатками автотрансформаторов являются больший ток короткого замыкания и опасность попадания высокого напряжения в сеть низкого.

6. Феррорезонансные устройства

Явление феррорезонанса широко используется в технике для построения различных устройств: генераторов, преобразователей частоты, генераторов и формирователей импульсов, стабилизаторов напряжения и тока, реле и др (рис. 14).

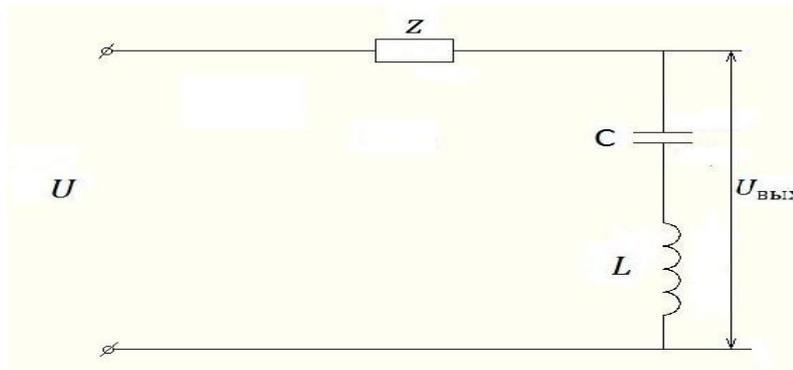


Рис. 14

Рассмотрим один из схемных вариантов феррорезонансного реле с последовательно соединёнными C , L , z_n и выдвинем предположение чисто реактивного характера контура ($z_n = 0$). По вольтамперным характеристикам $U_L = f(I)$ и $U_C = f(I)$ строим вольтамперную характеристику контура (рис. 15). При $I = I_1$ наступает резонанс напряжений и при дальнейшем увеличении тока U_z меняет фазу на 180° , но это не влияет на наши рассуждения, так как рассматриваются эффективные значения тока и напряжений.

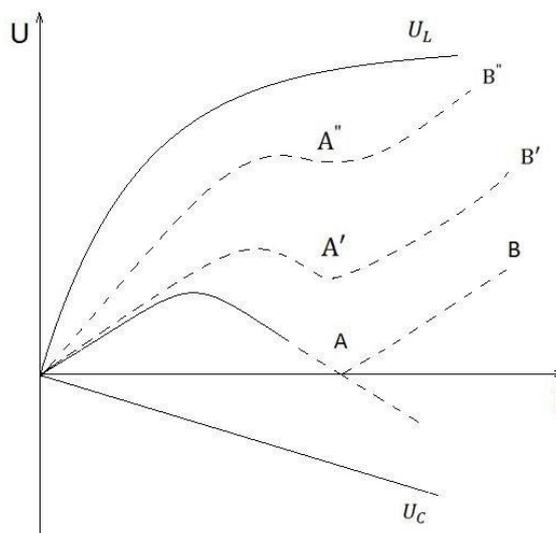


Рис. 15

В реальном контуре же имеются потери в активном сопротивлении, поэтому точка А не лежит на оси абсцисс, а располагается выше её (А', А'').

При плавном увеличении напряжения U , приложенного к контуру, ток в нём сначала нарастает плавно (ОА), при $U > U_{срб}$ происходит резкий скачок $I_1 - I_2$, после чего опять увеличивается плавно (рис. 16).

Снижение напряжения сначала вызывает плавное уменьшение тока по ветви ВБ, а затем срыв от I_3 до I_4 .

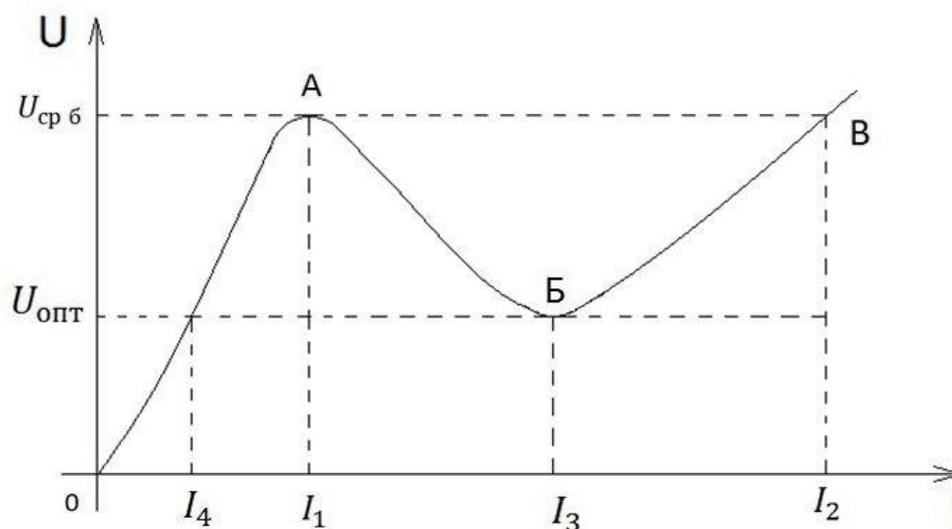


Рис. 16

Таким образом, ток в контуре изменяется в соответствии с типичной релейной характеристикой $I = f(U)$ реле напряжения. Реле можно также выполнить по схеме магнитного усилителя с последовательным соединением рабочих обмоток, включив последовательно с ними нагрузку и конденсатор.

6.1. Принципы построения феррорезонансных стабилизаторов напряжения

Выходная характеристика идеального стабилизатора, как зависимость выходной величины Y от величины на входе X , представляет собой прямую 1, параллельную оси абсцисс (рис. 17).

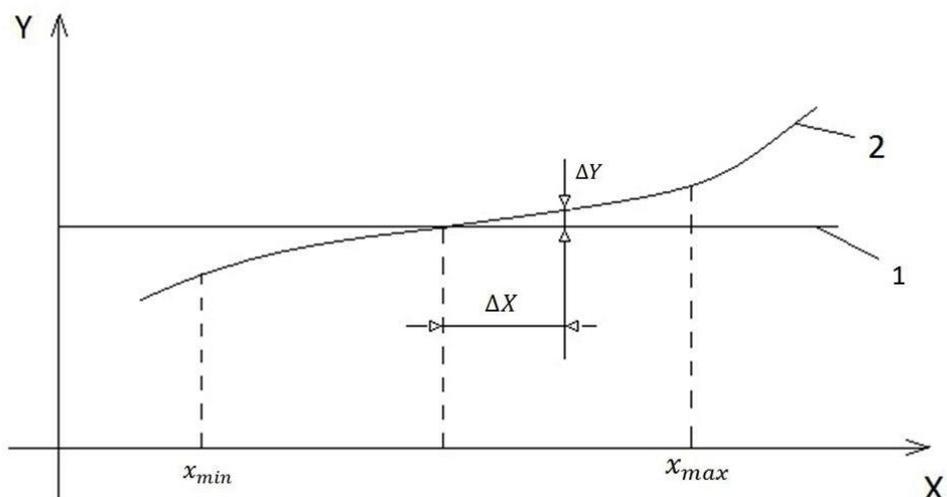


Рис. 17

Реальная же характеристика 2 приближается к идеальной лишь на определённом участке. Диапазоном стабилизации стабилизатора называется диапазон изменения входной величины, в пределах которого реальная характеристика с заданной точностью совпадает с идеальной, т.е.

$$D_{ст.} = x_{max} - x_{min} .$$

Диапазоны стабилизации по напряжению и по току:

$$D_{ст.у} = U_{вх. max} - U_{вх. min} ;$$

$$D_{ст. I} = I_{н max} - I_{н min}$$

определяют мощность, КПД и размеры стабилизатора.

Коэффициенты стабилизации стабилизатора по току, по напряжению питающей сети и по частоте определяются так:

$$K_I = \frac{\Delta I_{н}}{I_{н}} / \frac{\Delta U_{вых.}}{U_{вых.}} ;$$

$$K_U = \frac{\Delta U_{п}}{U_{п}} / \frac{\Delta U_{вых.}}{U_{вых.}} ;$$

$$K_f = \frac{\Delta f_{п}}{f_{п}} / \frac{\Delta U_{вых.}}{U_{вых.}} .$$

Они показывают, во сколько раз относительное изменение выходного стабилизированного напряжения $\Delta U_{\text{вых}}/U_{\text{вых}}$ меньше относительного изменения напряжения сети $\Delta U_{\text{п}}/U_{\text{п}}$, тока нагрузки $\Delta I_{\text{п}}/I_{\text{п}}$ или частоты $\Delta f/f$.

По принципу работы стабилизаторы делятся на две группы: параметрические и компенсионные. Можно комбинировать стабилизаторы этих групп; тогда параметрический маломощный стабилизатор служит источником эталонного напряжения в мощном компенсационном стабилизаторе.

Простейший стабилизатор напряжения состоит из последовательно соединенных линейного $z_{\text{л}}$ и нелинейного $z_{\text{нл}}$ сопротивлений. Вольтамперная характеристика $z_{\text{нл}}$ имеет участок $U_{\text{нл}} = f(I_{\text{нл}}) = \text{const}$. Выходное напряжение снимается ($U_{\text{вых}}$) с нелинейного элемента (рис. 18).

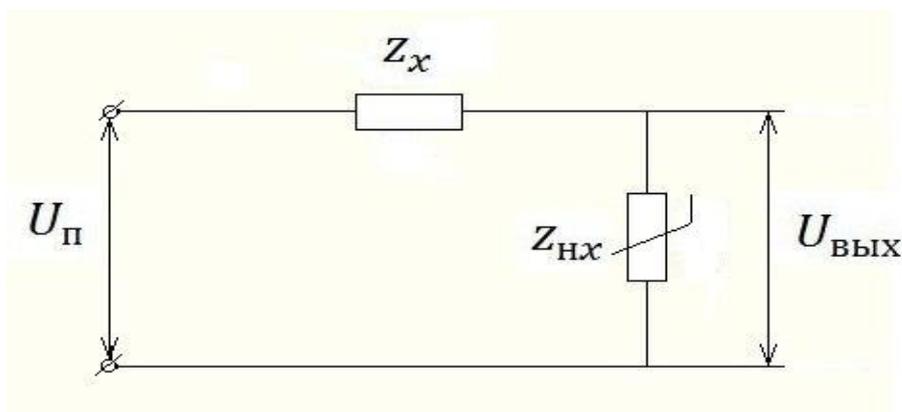


Рис. 18

Параметрические стабилизаторы при активных сопротивлениях имеют низкий КПД из-за больших потерь, поэтому они применяются на мощностях до нескольких Ватт.

В цепях переменного тока средних и больших мощностей используют параметрические стабилизаторы, выполненные на магнитных элементах: линейном (ненасыщенном) и нелинейном (насыщенном) дросселях.

Введением в схему параметрического стабилизатора дополнительного напряжения $U_{\text{к}}$, компенсирующего $\Delta U_{\text{вых}}$, можно существенно повысить коэффициент и диапазон стабилизации (рис. 19). Мощность и КПД стабилизатора на магнитных элементах можно существенно повысить, если на базе нелинейного магнитного элемента

включением линейной ёмкости создать последовательный или параллельный феррорезонансный контур и получить феррорезонансный стабилизатор.

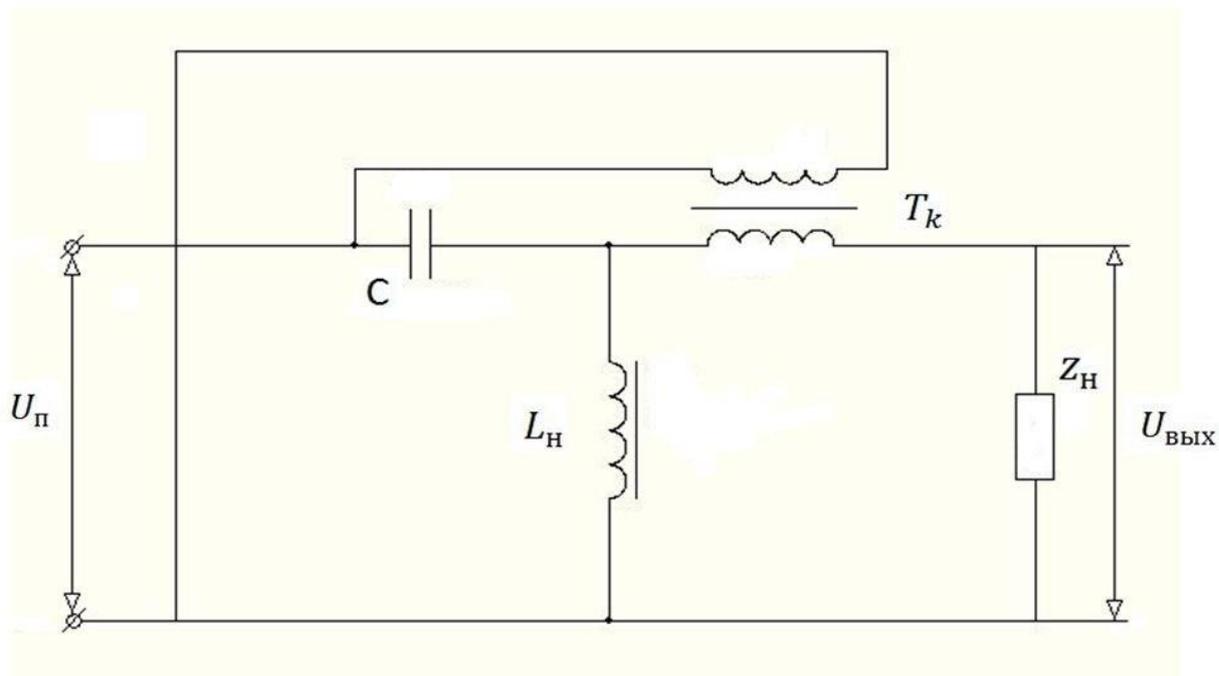


Рис. 19

Последовательно соединённые C (конденсатор) и катушка $L_{\text{Н}}$ с насыщенным магнитным сердечником (нелинейный дроссель) образуют простейший стабилизатор. Стабилизированное выходное напряжение снимается с нелинейного дросселя $L_{\text{Н}}$, сопротивление которого для нормальной работы должно быть намного меньше сопротивления нагрузки $z_{\text{н}}$.

На рис.20 представлены вольтамперные характеристики схемы и её элементов при $z_{\text{н}} = \infty$. При изменении входного напряжения от $U'_{\text{П}}$ до $U''_{\text{П}}$ выходное напряжение изменяется всего до $U''_{\text{ВЫХ}}$.

Статическая характеристика стабилизатора $U_{\text{ВЫХ}} = f(U_{\text{П}})$ представлена на рис. 21.

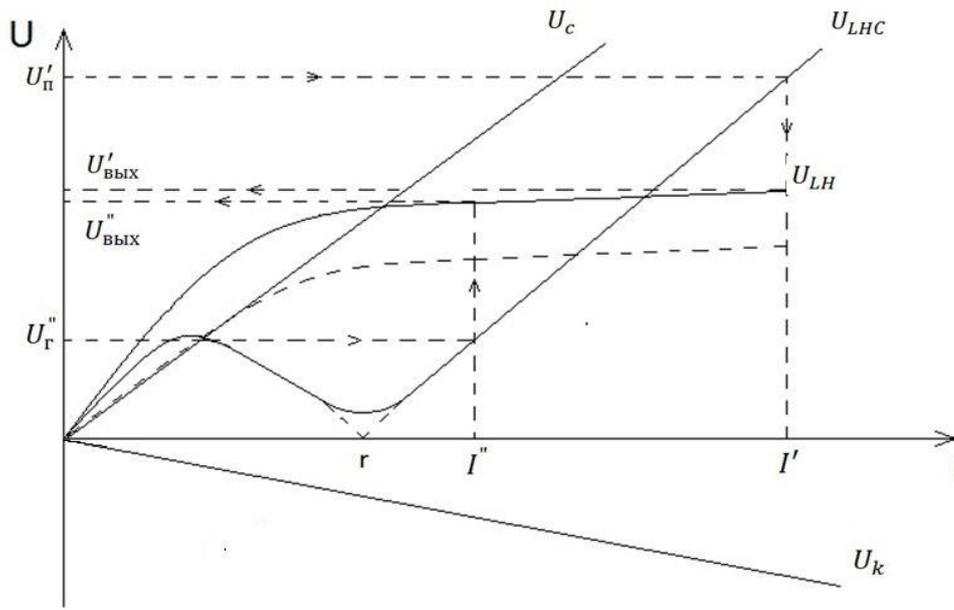


Рис. 20

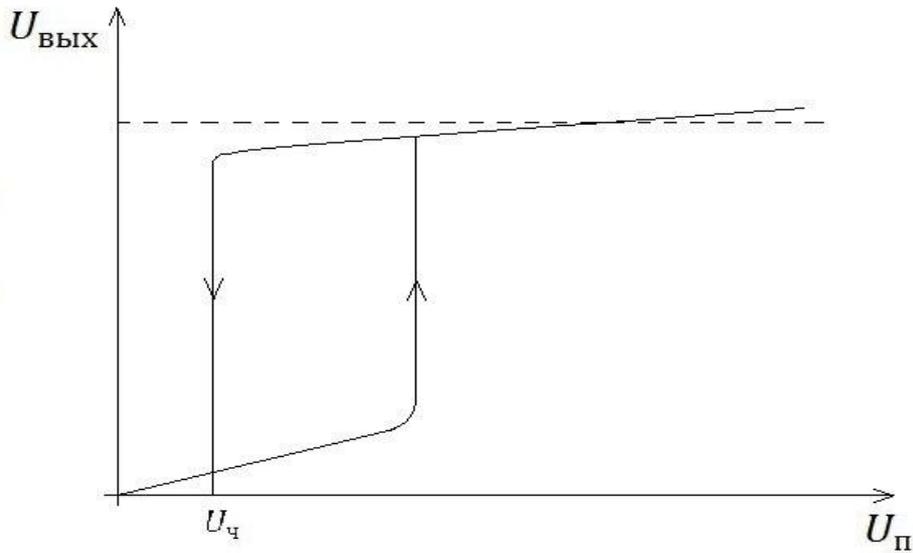


Рис. 21

Она показывает, что срыв стабилизации происходит при $U_п \leq U_r$, где U_r – критическое значение напряжения, которое определяется точкой r , соответствующей резонансу напряжений.

6.2. Феррорезонансные преобразователи частоты

Используются для уменьшения инерционности и размеров устройств, повышения точности их работы, создания сварочных агрегатов и т.д. Принципиально общим для всех статических феррорезонансных преобразователей частоты является предварительное искажение формы выходного напряжения в цепи с нелинейным индуктивным, емкостным или активным сопротивлением и последующее выделение нужной гармоники на выходе с помощью феррорезонансного контура.

7. Электромашинные устройства (ЭМУ)

7.1. ЭМУ постоянного тока с преобразователями

Первыми преобразователями, широко применявшимися в практике электропривода, были электромашинные преобразователи – генераторы постоянного тока независимого возбуждения. Это ЭМУ получило наименование системы генератор-двигатель. Эта система состоит из генератора постоянного тока и двигателя с единой якорной системой (рис. 22).

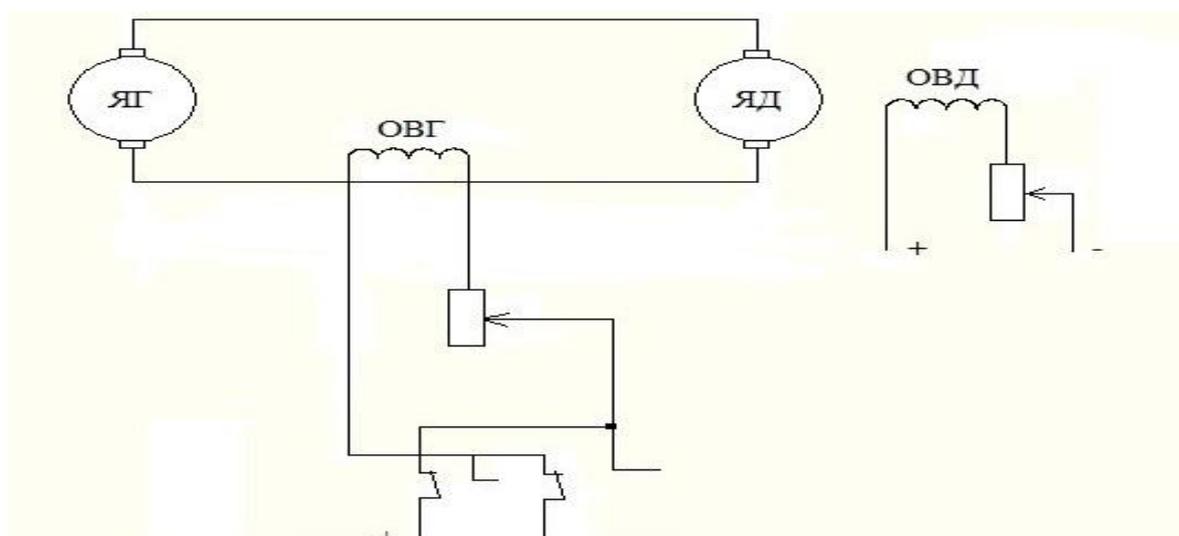


Рис. 22

Изменяя ток возбуждения и, следовательно, ЭДС генератора, можно регулировать скорость вращения якоря двигателя ЯД.

Пуск двигателя можно осуществлять прямым подключением обмотки возбуждения ОВГ к источнику постоянного тока. При этом не возникают чрезмерные токи в цепи якорей машин, так как нарастание тока в цепи возбуждения существенно замедляется из-за большой индуктивности обмоток возбуждения.

В установках большой мощности в связи с относительно большими токами возбуждения иногда применяют дополнительную машину возбудитель, якорь которой непосредственно подключается к обмотке возбуждения генератора, и управление системой переносится в цепь возбуждения возбудителя.

В этой системе генератор работает в качестве усилителя. Коэффициент усиления генератора по напряжению k_u , можно представить как отношение напряжения, создаваемого на нагрузке к напряжению в цепи возбуждения. Для увеличения коэффициента усиления по напряжению необходимо, чтобы сопротивление R_n нагрузки было существенно больше R_j .

7.2. Электромашинные усилители

Большая электромагнитная энергия цепей возбуждения в машинах постоянного тока и соответствующее медленное протекание процессов в системе генератор-двигатель, привели к созданию специальных электромашинных усилителей, обладающих лучшими динамическими свойствами. Были разработаны три типа усилителей: многообмоточные возбудители; усилители с самовозбуждением и усилители поперечного поля. Наиболее широкое применение получили последние. Этот усилитель представляет собой генератор постоянного тока с двухполюсной магнитной системой из шихтованной стали и двумя комплектами щёток, расположенными по двум взаимно-перпендикулярным осям (рис. 23).

При питании обмотки управления ОУ током i_y , создаётся магнитный поток Φ_y , вызывающий вращение якоря. При этом в проводниках последнего индуцируется ЭДС e_n , направление которой обеспечивает наибольшее её значение на щётках 1–2. При замыкании щёток 1–2 накоротко в этой цепи потечёт ток i_n , который будет совпа-

дать по направлению с e_n и определяться её значением, сопротивлением обмотки якоря и переходным сопротивлением щёток 1, 2. Созданная этим током МДС F_n вызовет магнитный поток реакции якоря Φ_n направленный по оси щёток 1, 2 (поперечный магнитный поток) перпендикулярно магнитному потоку Φ_y . Поток Φ_n будет индуцировать в проводниках якоря ЭДС e_3 (выходная величина), направление которой обеспечивает максимальное её значение на щётках 3–4. При подключении к этим щёткам внешней нагрузки в обмотке якоря и внешней цепи потечет ток i_3 . Этот ток, протекая по обмотке якоря, создаёт магнитодвижущую силу (МДС) $F_я$, направленную по продольной оси навстречу МДС F_y обмотки управления ОУ.

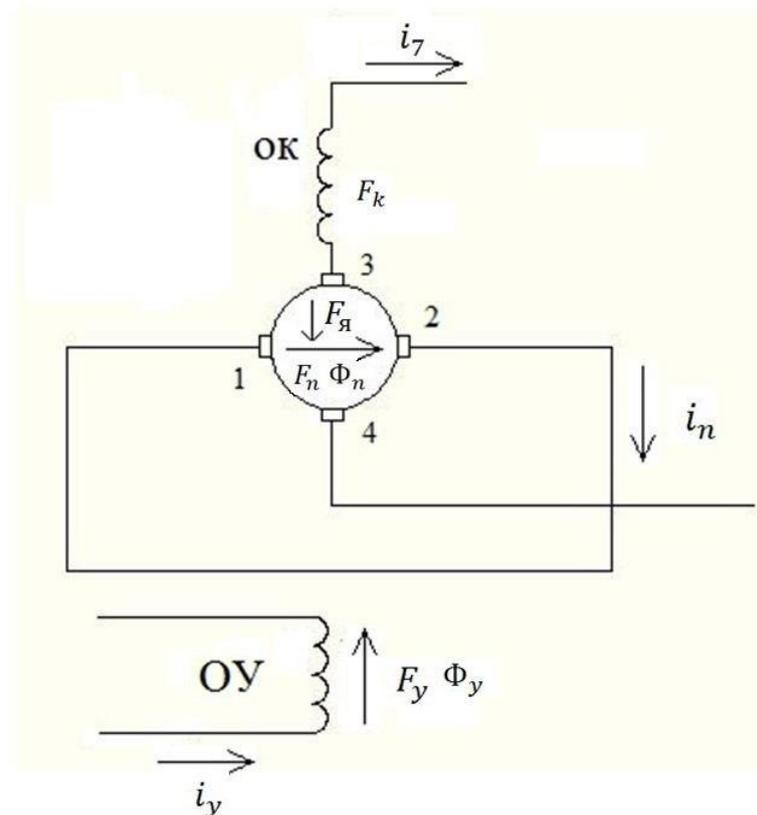


Рис. 23

Чтобы исключить размагничивающее действие МДС $F_я$ на полюсах по продольной оси размещают компенсационную обмотку ОК, которая при протекании по ней тока i_3 , создаёт МДС F_k равную МДС $F_я$ и направленную встречно.

Электромашинные усилители поперечного поля изготавливают на мощности от десятков Ватт до 10–20 кВт. В соответствии

с этим в электромашинных системах малой мощности ЭМУ используют как преобразователь, непосредственно питающий двигатель, а в установках средней мощности (от 10 до 900 кВт) – как возбуждатель генератора, к которому подключается двигатель.

Существует ряд рабочих машин, которые по условиям производственного процесса работают с частыми и большими перегрузками, как принято говорить на упор, поэтому необходим электропривод, который бы при перегрузках автоматически снижал скорость вращения до полной остановки. При этом с целью сохранить производительность рабочей машины необходимо, чтобы до предельно допустимого момента двигатель работал на жёсткой характеристике, с малой крутизной, а при подходе к моменту упора скорость двигателя и механизма уменьшалась бы до 0 (рис. 24).

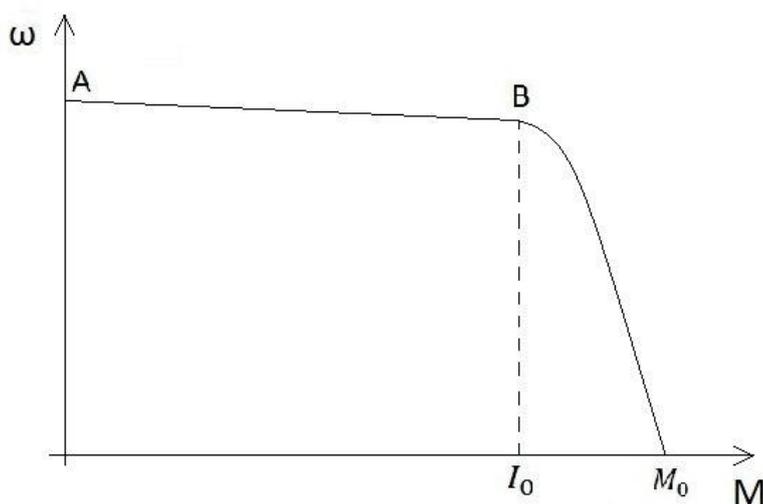


Рис. 24

Такую форму механической характеристики можно обеспечить за счёт задержанных обратных связей (рис. 25).

При допустимых нагрузках протеканию тока в цепи обратной связи препятствует диод V_{DI} и работа системы протекает на участке механической характеристики AB . По достижении током и соответственно моментом I_0 и M_0 , в характеристике возникает излом, обусловленный вступлением в действие отрицательной обратной связи по току. Дальнейший рост тока якоря приведёт к эффективному снижению ЭДС генератора. В неподвижном состоянии ЭДС генератора должна быть ограничена значением, соответствующим падению на-

пряжения от тока короткого замыкания в якорной цепи. Подобная схема применима в условиях нереверсивного направления движения системы.

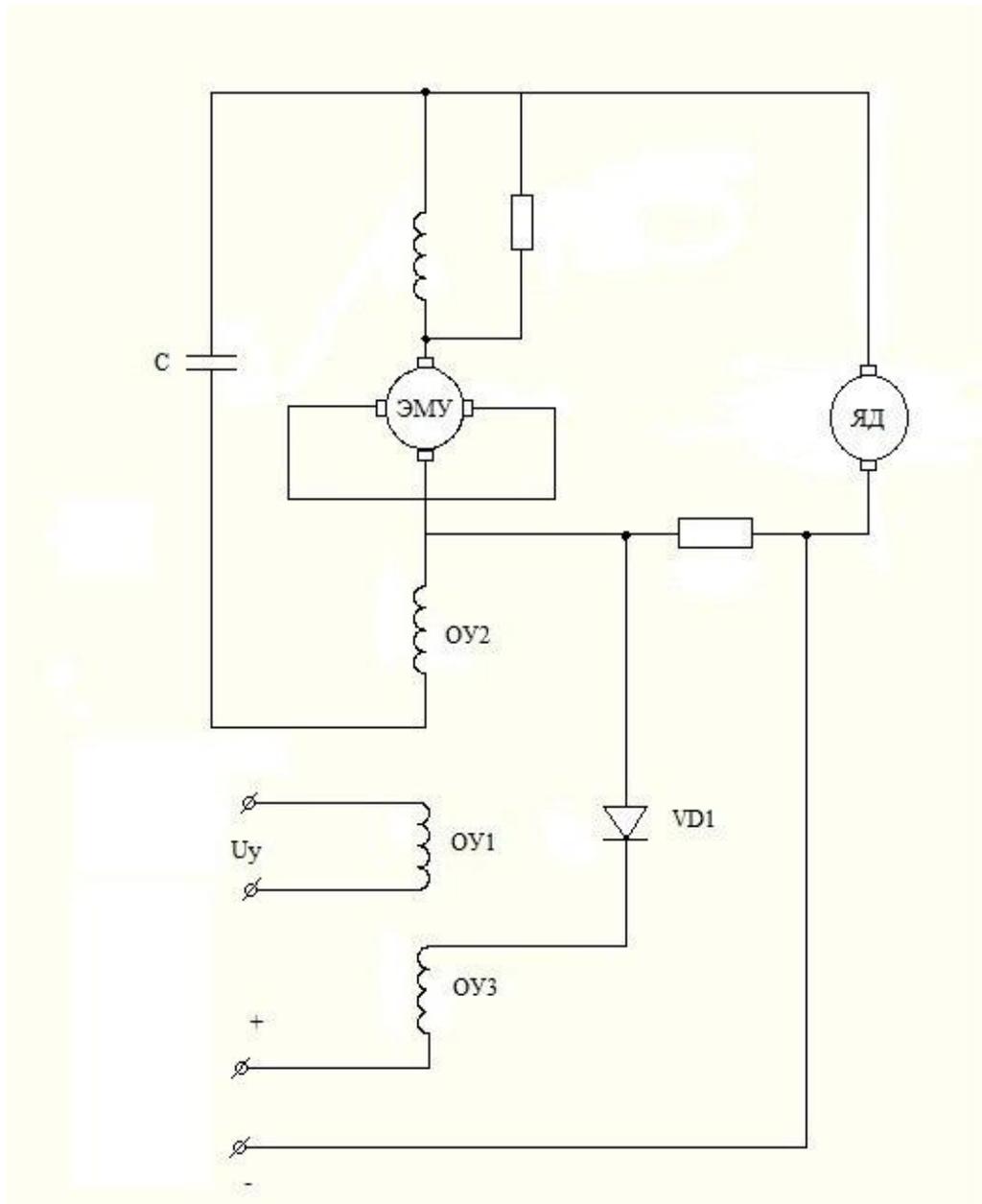


Рис. 25

В этом случае, когда изменяется направление тока в обмотке задающей, изменяется и направление тока в цепи задержанной обратной связи, постоянно обеспечивая размагничивающее действие.

При необходимости реверса схема (см. рис. 25) выглядит так (рис. 26):

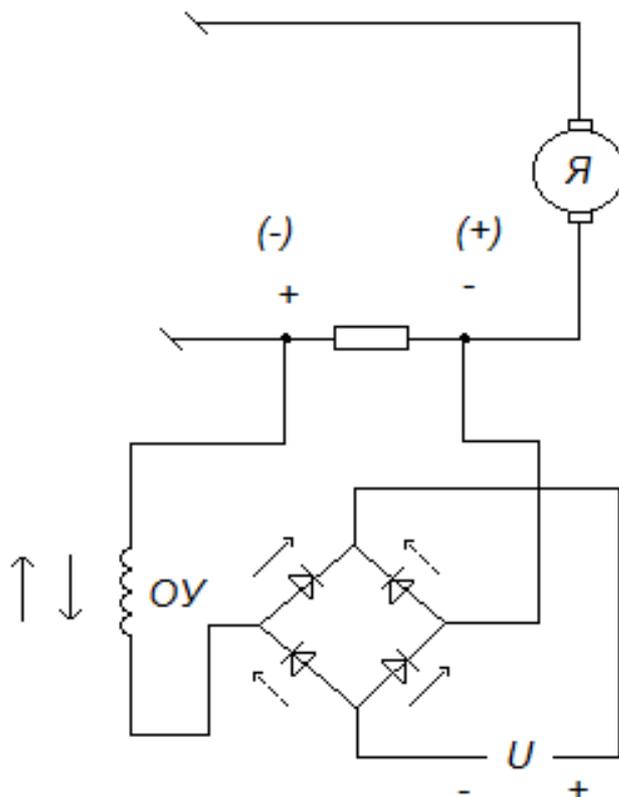


Рис. 26

7.3. Тиристорные приводы

Тиристор представляет собой не полностью управляемый прибор, который включается подачей соответствующего потенциала на управляющий электрод, а отключается только принудительным разрывом цепи тока за счёт отключения напряжения, естественного перехода его через ноль или подачи гасящего напряжения обратного знака.

Изменением момента подачи управляющего напряжения (его задержкой) можно регулировать среднее значение выпрямленного напряжения и тем самым скорость двигателя. Среднее значение выпрямленного напряжения в основном определяется схемой включения тиристорного преобразователя. В установках средней и большой мощности применяются мостовые схемы преобразователей. Все ва-

рианты тиристорных преобразователей наряду с положительными свойствами (малой инерционностью, отсутствием вращающихся элементов, меньшими размерами) обладают и рядом недостатков: жесткой связью с питающей сетью (все колебания напряжения в сети передаются в систему привода, а толчки нагрузки на оси двигателя немедленно передаются в сеть и вызывают всплески тока); низким коэффициентом мощности и др.

Представленная схема (рис. 27) обеспечивает регулирование скорости за счёт изменения напряжения, приложенного к якору двигателя, а реверс – за счёт изменения направления тока якоря с помощью контакторов.

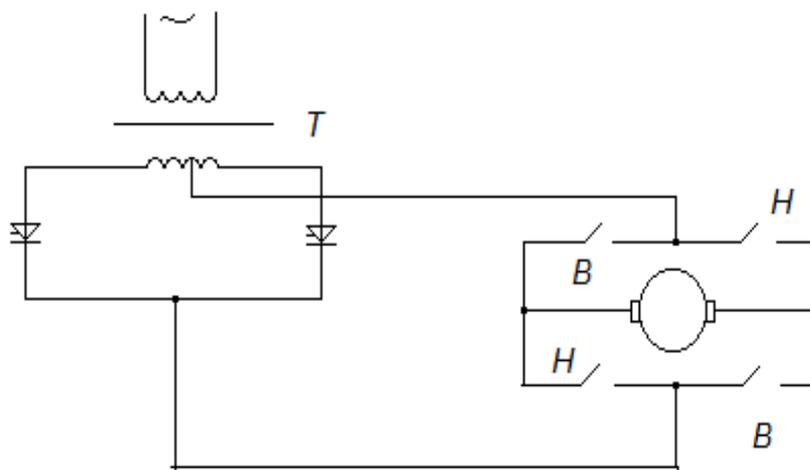


Рис. 27

Механическая характеристика двигателя, питаемого от тиристорного преобразователя, определяется напряжением, приложенным к якору и характером его изменения с нагрузкой.

В тиристорном приводе напряжение на якоре двигателя в установившемся режиме определяется выпрямленным напряжением преобразователя и падениями напряжения в цепи, образованной вторичной обмоткой силового трансформатора, тиристорами и обмоткой якоря (рис. 28).

Среднее значение выпрямленного напряжения определяется:

$$U_{в.ср.} = U_{в.о.} \cdot \cos \alpha ,$$

где $U_{в.о}$ – выпрямленное напряжение неуправляемого преобразователя;

α – угол регулирования или угол запаздывания подачи управляющего потенциала.

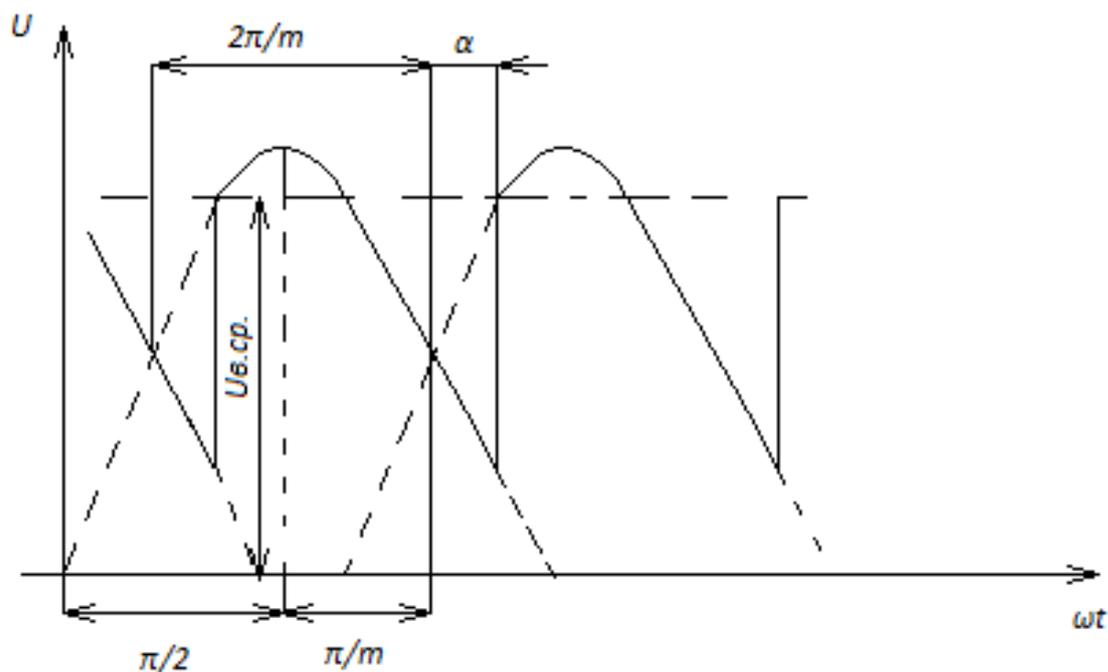


Рис. 28

Среднее значение выпрямленного напряжения m -фазного выпрямителя называют отношением интеграла вычисленного для кривой выпрямленного напряжения за время протекания тока через один тиристор, к тому же интервалу времени.

Зависимость выпрямленного напряжения от угла регулирования α нелинейна и графически выражается законом косинуса.

Выпрямленное напряжение тиристорного преобразователя регулируется изменением момента подачи управляющего сигнала на включение тиристора, т.е. изменение угла регулирования α . В настоящее время используют так называемое вертикальное управление, основанное на сравнении задающего сигнала с пилообразноизменяющимся напряжением. В момент их равенства с помощью нуля органа подаётся сигнал на включение тиристора соответствующей фазы. Управляющий сигнал формируется фазосдвигающим устройством (ФСУ).

7.4. Импульсное управление двигателями

Как правило, в технике электропривода используется широтно-импульсная модуляция (ШИМ). При этом среднее значение напряжения на якоре двигателя регулируется за счёт изменения длительности (ширины) импульса. Актуальное значение имеет выбор частоты импульсов (переключений). Для того, чтобы свести к минимуму пульсации скорости, целесообразно работать на повышенной частоте. Однако это приводит к росту потерь в транзисторах и осложняет коммутацию тиристоров. Обычно частоту импульсов выбирают для систем широтно-импульсного управления на транзисторах в пределах 1–5 кГц, а для систем на тиристорах – примерно 1 кГц. Существует большое количество схем установок с однополярными импульсами, которые являются нереверсивными (рис. 29). Преимущественно используются реверсивные с разнополярными импульсами (рис. 30).

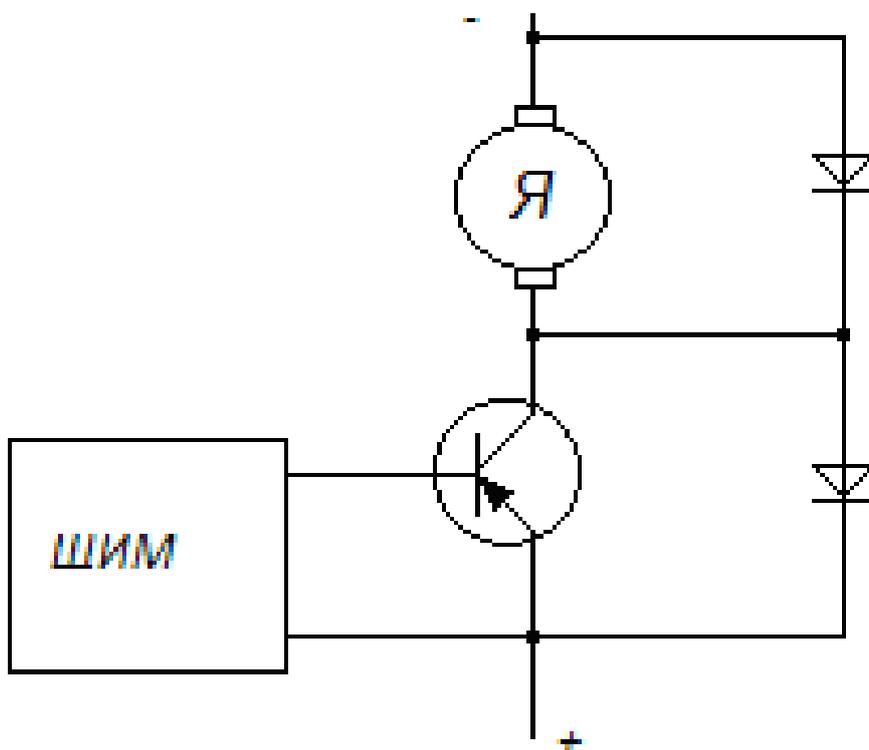


Рис. 29

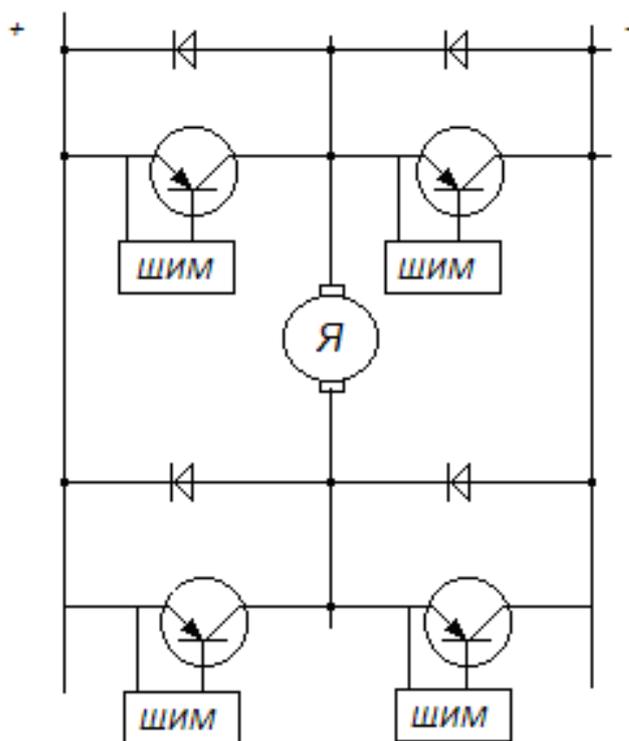


Рис. 30

Естественно скорость двигателя непрерывно пульсирует, изменяясь в пределах от ω_1 до ω_2 , причём в установившемся режиме абсолютные значения изменений скорости при разгоне $\Delta\omega_p$ и торможении $\Delta\omega_r$ одинаковы.

В связи с большой частотой импульсов пульсации скорости незначительны.

7.5. Вентильные двигатели

Машины постоянного тока, как правило, имеют более высокие технико-экономические показатели по сравнению с машинами переменного тока, но у них есть существенный недостаток – наличие щёток и коллектора. Для исключения этого недостатка можно использовать полупроводниковый коммутатор. Такие двигатели с коммутатором получили название вентильных. Якорь у них неподвижен, а ротор представляет собой постоянный магнит (рис. 31).

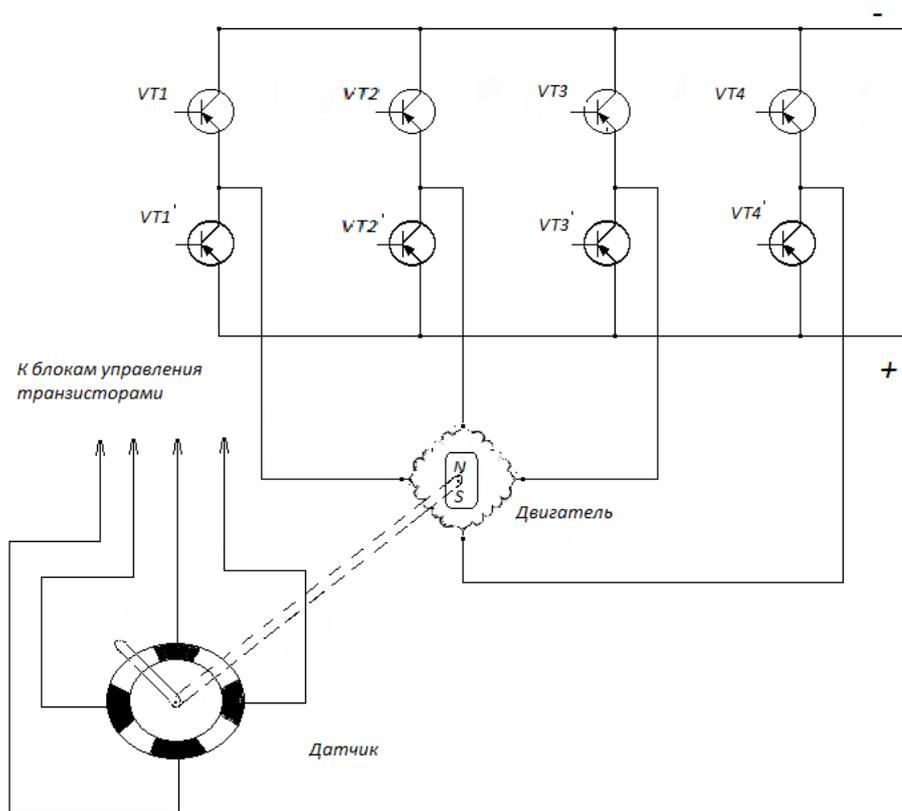


Рис. 31

Основным элементом в системе управления вентильным двигателем является датчик положения, который может быть основан на разных принципах: фотоэлектрические, индуктивные, емкостные (рис. 32).

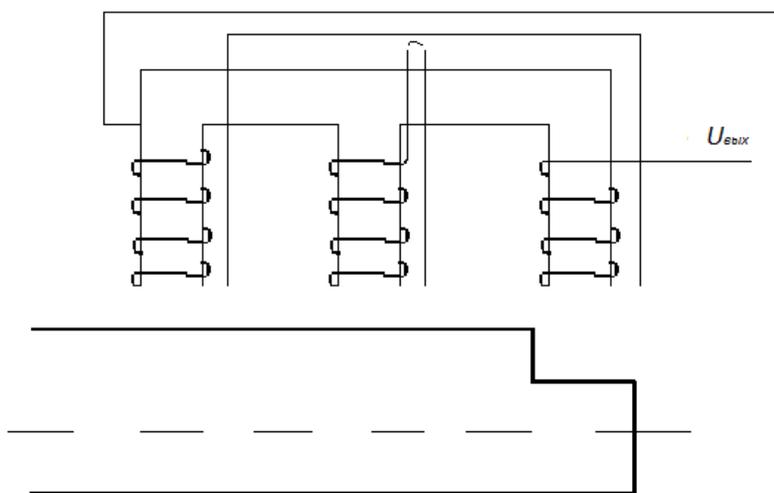


Рис. 32

По команде от датчика последовательно включаются транзисторные пары VT1, VT3'; VT2, VT4'; VT3, VT1'; VT4, VT2'.

Чаще применяются индуктивные или емкостные датчики положения.

8. Электрические машины переменного тока

К сожалению, двигатели переменного тока по своим свойствам и, прежде всего, по управляемости, существенно уступают двигателям постоянного тока.

Среди машин переменного тока различают два основных типа: синхронные и асинхронные. В синхронных двигателях скорость вращения ротора ω_p всегда равна скорости вращения магнитного поля. В асинхронных же $\omega_p \neq \omega_0$.

Синхронные и асинхронные машины обладают свойством обратимости и могут работать как генераторы и как двигатели. Синхронные преимущественно используются в энергетических установках как генераторы. Асинхронные машины в основном используются как двигатели.

Синхронная машина работает на том же принципе, что и машина постоянного тока. Ротор синхронной машины создаёт магнитное поле. В большинстве случаев возбуждение электромагнитное – за счёт обмотки, питаемой постоянным током (в случае использования синхронной машины как генератора) или возбуждение за счёт намагничивания ротора, магнитным потоком статора (двигатель).

Асинхронные машины. Основной ток асинхронных машин – трехфазный асинхронный двигатель, имеющий три обмотки на статоре, смещённые в пространстве на 120° , соединённые в звезду или в треугольник. Ротор обычно выполняется как короткозамкнутый в виде так называемой беличьей клетки, составленной из металлических стержней с кольцевыми накладками.

Три обмотки статора, по которым протекает переменный ток, создают вращающееся магнитное поле, взаимодействующее с токами, индуцируемыми в роторе. При этом создается вращающий момент, который стремится повернуть ротор в направлении вращения поля и потока.

Двухфазные двигатели. Двигатели малой мощности в большинстве случаев выполняются как двухфазные. В отличие от трёх-

фазных они имеют на статоре две обмотки возбуждения, смещенные в пространстве на угол $\pi/2$, токи в которых для создания вращающегося магнитного поля, должны быть сдвинуты на тот же угол $\pi/2$. Так как питание двухфазных двигателей, как правило, однофазное, то сдвиг между такими в обмотках возбуждения, создаётся искусственно, за счёт включения конденсаторов. При этом маломощные двухфазные двигатели часто используются как регулируемые за счёт изменения тока в одной из обмоток, называемой обмоткой управления, по амплитуде или фазе. Вторая обмотка (возбуждения) подключается к сети непосредственно или через конденсатор.

8.1. Управление трёхфазными двигателями

Управление асинхронными двигателями, так же как и двигателями постоянного тока может быть параметрическим, либо от индивидуального преобразователя.

Параметрическое управление связано с большими потерями энергии и поэтому его применяют для кратковременного снижения скорости, введением в цепь ротора (при условии, что он фазный) добавочного сопротивления, когда управление скоростью связано с пуском и торможением рабочей машины (подъемные установки).

Регулирование скорости изменением подводимого напряжения осуществляется за счёт использования магнитных усилителей или тиристорных преобразователей.

8.2. Частотное управление

Плавно регулировать скорость в широких пределах с сохранением эффективности механических характеристик асинхронного двигателя можно только изменяя частоту питающего тока, а следовательно, и скорость вращения магнитного поля. Преобразователь частоты должен быть построен так, чтобы имелась возможность регулировать на его выходе частоту и напряжение. В настоящее время в системах электропривода используют два типа преобразователей частоты: с непосредственной связью первичной и вторичной цепей (НПЧ) и со звеном постоянного тока (рис. 33).

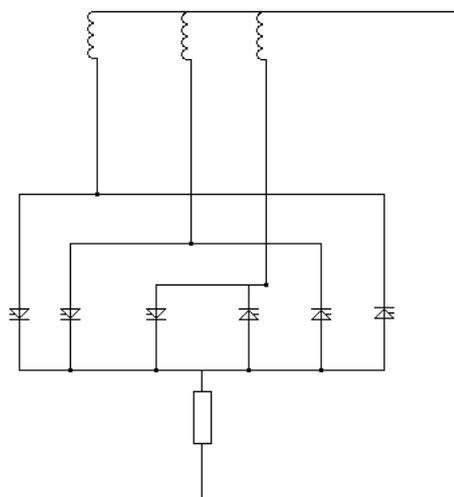


Рис. 33

По этой схеме напряжение трёхфазной сети с неизменной частотой f_1 преобразуется в напряжение однофазной сети, с переменной частотой f_2 . Существенный недостаток НПЧ преобразователей – большое число тиристоров, для преобразователя трёхфазного напряжения в трёхфазное их необходимо иметь 18. Чтобы сократить число тиристоров, можно использовать специальные асинхронные двигатели с двухфазной обмоткой. Регулировать частоту в системах с НПЧ можно только в зоне низких частот.

Более широкий диапазон регулирования частоты и соответственно скорости двигателя обеспечивает система с преобразователем со звеном постоянного тока, которая содержит два независимых канала управления по частоте и напряжению.

8.3. Управление двухфазными двигателями

Вследствие того, что управлять скоростью трёхфазных двигателей трудно, в приводах малой мощности (до 200 Вт), где энергетические показатели не играют большой роли, используют двухфазные асинхронные двигатели. Чтобы упростить систему управления, воздействуют только на одну обмотку – обмотку управления. Вторую обмотку подключают непосредственно к сети и ток в ней не меняет-

ся. При регулировании тока в обмотке управления вносится асимметрия в МДС обмоток и вместо кругового магнитного поля в машине возникает поле эллиптическое. При этом наряду с напряжением и токами прямой последовательности фаз, создающими двигательный режим, возникают напряжения и токи обратной последовательности фаз, вызывающие тормозное действие.

Меняя степень асимметрии, можно регулировать скорость двигателя.

В зависимости от способа создания асимметрии магнитного поля, различают три вида управления: амплитудный, фазовый и амплитудно-фазовый (рис. 34).

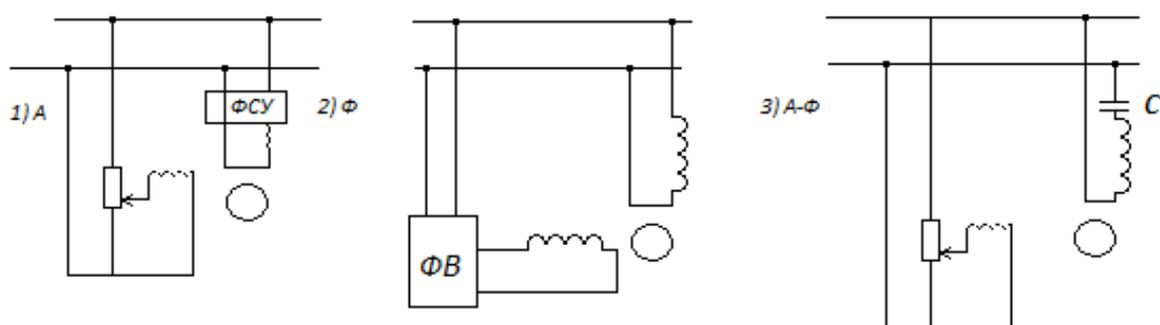


Рис. 34

9. Шаговые двигатели

Они представляют собой электромеханические устройства, которые преобразуют импульсы тока в дискретное угловое или линейное перемещение. Широкое применение шаговые двигатели получили с внедрением дискретных систем, для которых необходимы импульсные исполнительные устройства. В связи с этим были разработаны шаговые двигатели по принципу синхронной машины. Каждому импульсу отвечает перемещение ротора двигателя на один шаг, величина которого определяется физическими и конструктивными особенностями двигателя, а также схемой управления. Отработка одного шага осуществляется с некоторой погрешностью, но и отработка нескольких шагов может иметь ту же погрешность, т.е. ошибка не на-

капливается. Поэтому системы управления с шаговыми двигателями обычно строятся как разомкнутые, без обратной связи по положению.

В настоящее время применяют в основном два типа шаговых двигателей: с активным ротором и реактивные. Как правило, их выполняют многофазными (3, 4, но не более 8). Шаговый двигатель с активным ротором аналогичен синхронному двигателю (рис. 35).

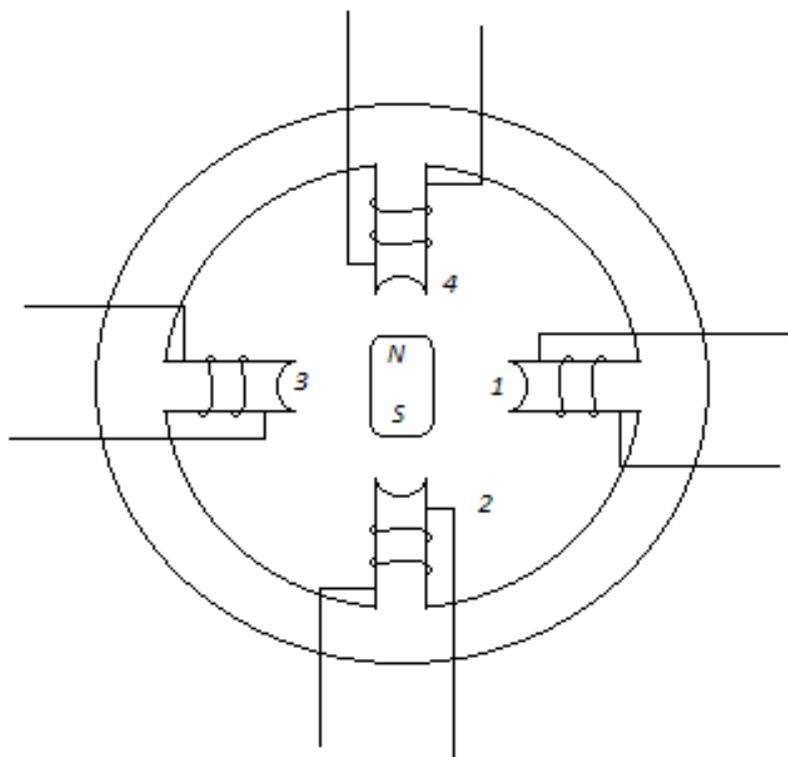


Рис. 35

Ротор представляет собой постоянный магнит. Сердечник статора имеет ряд выступов, на которых располагаются сосредоточенные обмотки.

Управление осуществляется однополярными импульсами. При подаче импульса на обмотку 1 ротор повернется на угол 90° . Следующий импульс, поданный на обмотку 2, опять вызовет поворот ротора на 90° . Чтобы увеличить момент вращения, иногда включают обмотки попарно в последовательности 1–2, 2–3, 3–4 и т.д. Шаг ротора в обоих случаях будет составлять $2\pi/m$. Для уменьшения шага вдвое вместо симметричного включения обмоток используют несимметричное по схеме 1, 1–2, 2, 2–3 и т.д. При этом число устойчивых положений удваивается. Увеличить число устойчивых положений можно использованием разнополярных импульсов. Большое досто-

инство шагового двигателя с активным ротором – это наличие момента, удерживающего ротор в занимаемом им положении при отключённом двигателе.

Реактивный шаговый двигатель аналогичен редукторному синхронному двигателю. Ротор его выполняется из мягкой электротехнической стали и имеет зубчатую структуру. Статор выполняется с явнополюсной структурой, причём полюсные наконечники имеют зубцы. В реактивном двигателе отсутствует момент при отключённых обмотках. Для устранения этого недостатка обмотки статора могут подпитываться постоянным током или в магнитопровод статора встраивают постоянные магниты.

Наиболее тяжёлыми для шагового двигателя являются переходные режимы – пуск и торможение. Основное требование при этом не пропустить импульс и не потерять шаг. Пуск осуществляется подачей сигналов с частотой, соответствующей требуемой скорости. Максимальная частота, при которой двигатель может разогнаться без потери шага, называется частотой приёмистости. Ещё более тяжёлым режимом для шагового двигателя является реверс. Частота, при которой изменяя последовательность переключения токов в обмотках, можно обеспечить реверс без потери шага, меньше частоты приёмистости.

10. Моментные двигатели

В моментных двигателях ротор, развивая необходимый момент, поворачивается лишь на весьма малые углы, составляющие долю его оборота. Таким образом, двигатель работает с практически неподвижным ротором или, как говорят, в режиме короткого замыкания. В качестве моментных могут быть использованы двигатели различных типов как постоянного так и переменного тока.

Наиболее рационально использование двухфазного синхронного двигателя с возбуждением от постоянного магнита и питанием обмотки статора постоянным током (рис. 36).

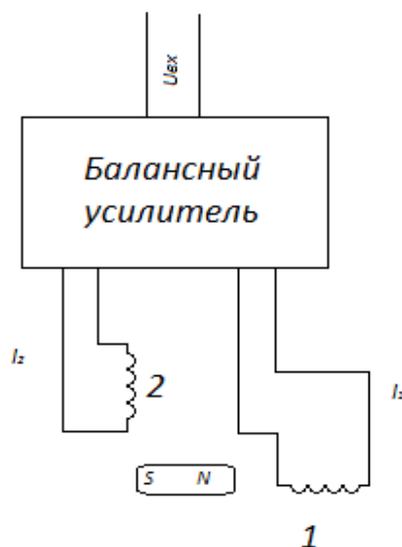


Рис. 36

Изменяя соотношение токов от $I_1 = \text{max}$, $I_2 = 0$ до $I_1 = 0$, $I_2 = \text{max}$, можно обеспечить поворот ротора в пределах 90° .

Системы с моментными двигателями отличаются повышенным быстродействием, так как двигатель практически не вращается, то его механическая инерция не влияет на динамику системы.

11. Двигатели для микроперемещений

В ряде случаев в приводах высокоточных систем требуется обработка перемещений, составляющих несколько микрометров. При использовании в таких системах шаговых двигателей как обладающих малым угловым шагом всё же необходима механическая передача с большим передаточным отношением, которой свойственны погрешности. В связи с этим необходимы двигатели для микроперемещений, выполненные на иной физической основе.

Принципиально возможно построение двигателей, в которых используются следующие физические явления: тепловое расширение тела, электромагнитное взаимодействие, магнитострикция, обратный пьезоэффект.

Широкое применение получили магнитострикционные двигатели, в которых используется свойство стержня из ферромагнитного материала изменять длину под воздействием магнитного поля.

При использовании стержней из никеля, кобальта при их длине 100 мм свободный конец может переместиться на 2–5 мкм. Недостаток такого двигателя – инерционность, обусловленная процессами в намагничивающей катушке. Полоса пропускания управляющего сигнала составляет ~ 30 Гц.

Наиболее предпочтителен пьезоэлектрический двигатель, выполняемый обычно как столбик из пьезокерамических шайб, склеенных между собой. Исходным материалом для пьезокерамики служат оксиды металлов (титанат бария, цирконат-титанат свинца и др.). Когда к торцевым поверхностям шайб приложено напряжение, то в зависимости от ориентации электрического поля столбик сжимается или удлиняется, максимальное изменение линейных размеров может составить до 25 мкм при базовой длине столбика 50 мм. Существенное достоинство пьезоэлектрического двигателя – быстрое действие, а полоса пропускания достигает 1000 Гц. К недостаткам рассмотренных двигателей относится наличие петли гистерезиса. Усилия, которые могут создавать эти двигатели, зависят от размеров стержня и шайб, и в реальных устройствах составляют несколько сотен ньютонов (рис. 37).

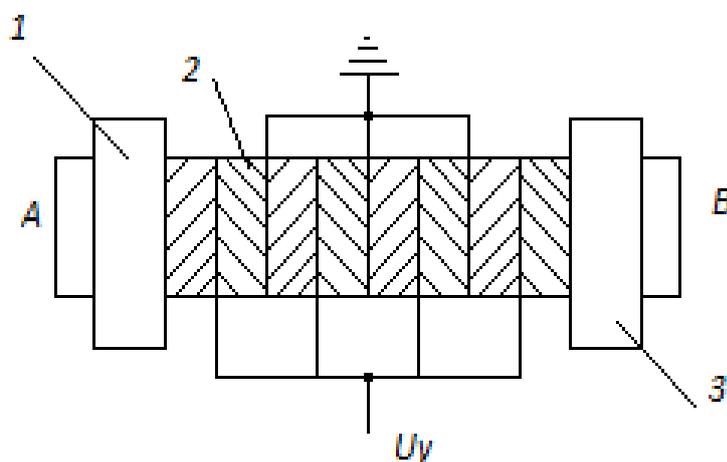


Рис. 37

Часто максимальные перемещения, которые обеспечивают магнитострикционный и пьезоэлектрический двигатели, недостаточны. Тогда прибегают к шаговым двигателям, построенным на тех же принципах.

Двигатель состоит из столбика пьезоэлектрических шайб 2 и двух зажимных устройств 1 и 3 на его концах. При работе в непрерывном режиме зажимное устройство 3 зафиксировано, а устройство 1 свободно. В зависимости от напряжения поданного на шайбы, осуществляются микроперемещения конца А. После использования возможного ресурса перемещений и при достижении напряжения предельного значения зажим 1 фиксирует конец А, напряжение с шайб снимается, а зажим 3 освобождает конец В. Столбик при этом сжимается до базового значения, после этого зажим 3 фиксирует конец В, а зажим 1 отпускает конец А.

12. Тахогенераторы

Тахогенератор представляет собой малогабаритную электрическую машину-генератор, ЭДС которой в первом приближении пропорциональна скорости вращения вала. Их используют в устройствах измерения скорости, а так же как элементы автоматических корректирующих устройств.

Тахогенератором может быть электрическая машина любого типа.

Тахогенераторы постоянного тока выполняют как маломощные генераторы с независимым возбуждением или магнитоэлектрическим возбуждением от постоянных магнитов. При независимом возбуждении необходимо стабилизировать ток в цепи возбуждения, чтобы исключить влияние колебаний напряжения источника питания, а также колебания сопротивления цепи возбуждения, обусловленные изменениями температуры обмотки (рис. 38).

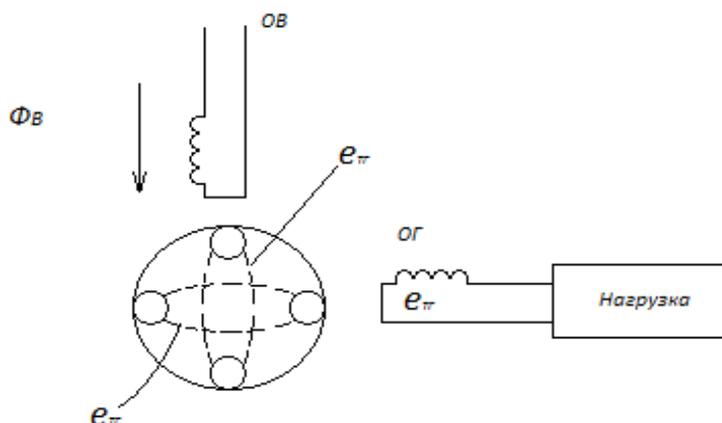


Рис. 38

Асинхронный тахогенератор представляет собой машину переменного тока с двумя обмотками на статоре, сдвинутыми в пространстве на угол 90° , и полым ротором, аналогичным ротору двухфазного двигателя (облегчённый с целью снижения момента инерции).

Одна из обмоток (обмоток возбуждения) подключена к источнику переменного тока, другая (генераторная) является выходной, с которой снимается напряжение, пропорциональное скорости.

В неподвижном роторе индуцируется ЭДС e_{mp} , как во вторичной обмотке трансформатора. Так как ось генераторной обмотки перпендикулярна к оси обмотки возбуждения, то при неподвижном роторе ЭДС в генераторной обмотке практически не индуцируется. При вращающемся роторе в нём помимо трансформаторной ЭДС возникает ЭДС вращения $e_{вр}$, пропорциональная скорости вращения. Токи, возникающие в роторе, вследствие большого активного сопротивления ротора практически совпадают по фазе с ЭДС вращения и создают пульсирующий поток, направленный по поперечной оси машины, который генерирует в неподвижной генераторной обмотке ЭДС e_{mp} , пропорциональную скорости вращения ротора. Реальная характеристика асинхронного тахогенератора отклоняется от линейной и это вызвано рядом погрешностей, обусловленных и характером нагрузки, и скоростью, и взаимной индуктивностью обмоток.

Асинхронный тахогенератор применяют не только для измерения скорости, но и для оценки ускорения. Обмотка возбуждения подключается к источнику постоянного тока. При вращении с постоянной скоростью в роторе индуцируется постоянная ЭДС и соответственно в генераторной обмотке никакой ЭДС не возникает. При линейно нарастающей скорости вращения ток в роторе и поток вдоль оси генераторной обмотки увеличивается по линейному закону. Следовательно, в этой обмотке генерируется ЭДС, пропорциональная скорости нарастания магнитного потока.

13. Гидравлические и пневматические приводы

Гидравлические и пневматические приводы состоят из трёх основных частей силовой, распределительной и рабочей. Силовой частью у гидравлических приводов является насос, а у пневматических

приводов – компрессор. В распределительную часть входят контрольно-регулирующая, распределительная и вспомогательная аппаратура. Рабочей частью являются двигатели ротационного типа и силовые цилиндры, рабочий орган которых совершает возвратно поступательное движение. В пневматических приводах применяются ещё и мембранные приводы.

Если в качестве рабочей части в гидравлических и пневматических приводах применяют ротационные двигатели, то их называют приводами вращательного движения, а если силовые цилиндры или мембраны, то приводами поступательного движения.

На рис. 39 представлены принципиальные схемы гидроприводов вращательного и поступательного движения. Силовой частью в обоих вариантах является насос 1, рабочей частью – двигатель вращательного движения или силовой цилиндр 3. Распределительный золотник 2, предохранительный клапан 5 и дроссель 4 относятся к распределительной части привода.

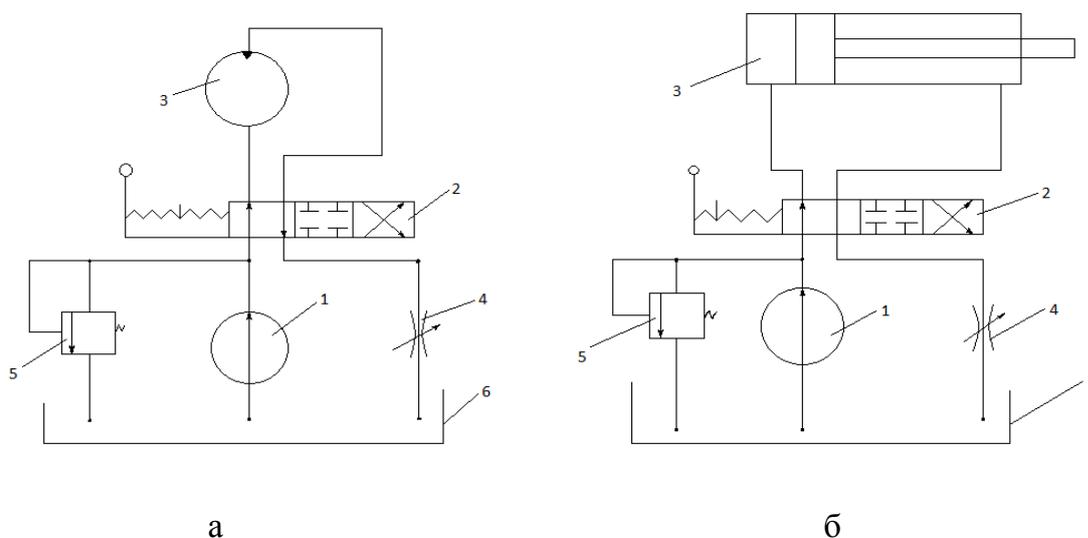


Рис. 39 (а–б)

Жидкость с помощью насоса 1 подаётся к распределительному золотнику 2, затем в двигатель или силовой цилиндр 3, откуда опять через золотник и дроссель 4 в приёмный резервуар 6. При изменении положения плунжера золотника происходит реверс. Дроссель 4 предназначен для изменения количества жидкости, проходящей через двигатель. Клапан 5 предохраняет систему от перегрузок. В случае превышения давления в системе выше допустимого значения, жид-

кость, минуя двигатель или силовой цилиндр, сбрасывается в приёмный резервуар.

13.1. Насосы и двигатели

Наиболее часто в гидроприводах и системах автоматики применяются поршневые ротационные насосы радиального и аксиально-го типов, пластинчатые ротационные насосы двойного действия, шестеренчатые насосы с внешним зацеплением и винтовые насосы.

На рис. 40 представлена принципиальная схема ротационного поршневого насоса радиального типа.

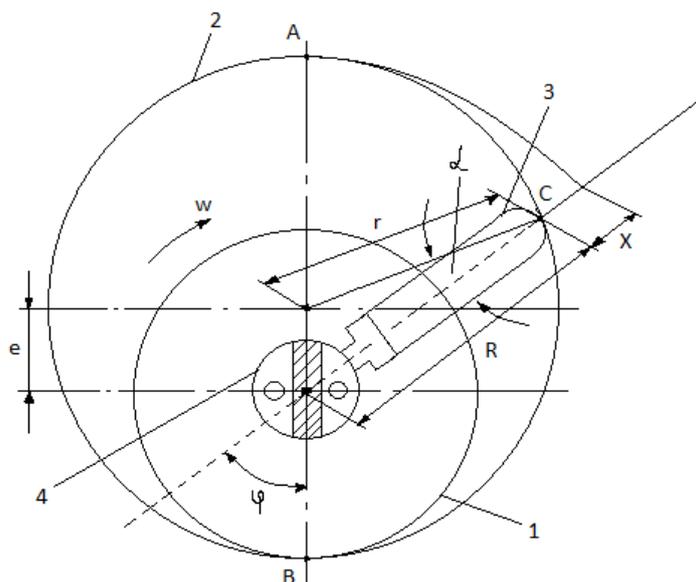


Рис. 40

Основными элементами такого насоса являются ротор 1, статор 2, поршеньки 3 (на рисунке показан один) и распределительная ось 4. Ротор, в радиальных отверстиях которого расположены поршеньки, вращается вокруг распределительной оси. Так как ротор относительно статора располагается с эксцентриситетом e , то при вращении ротора поршеньки совершают вращательные движения вместе с ротором и поступательное движение относительно ротора. При направлении вращения, указанном на рисунке, поршеньки, расположенные правее линии АВ, прижимаясь к внутренней поверхности статора, перемещаются к центру вращения. Поршеньки, расположенные левее линии АВ, перемещаются от центра вращения. Ось вокруг

которой вращается ротор имеет два паза, к которым подведены два канала, разделённые между собой перемычкой. Через правый канал жидкость, находящаяся под поршеньком, вытесняется, а через левый канал – всасывается. То есть можно сказать, что линия АВ разделяет полость всасывания от полости нагнетания. Однако местоположение полостей зависит не только от направления вращения, но и от знака эксцентриситета. Если центр ротора будет располагаться выше центра статора, то полости нагнетания и всасывания поменяются местами. За один оборот ротора каждый поршеньёк один раз всасывает и один раз нагнетает жидкость. Если пренебречь утечками, то количество жидкости, подаваемое насосом за один оборот ротора

$$q_o = \frac{\pi d^2}{4} 2ez,$$

а за n оборотов

$$Q_o = \frac{\pi d^2}{4} 2ezn,$$

где d – диаметр поршенька,

z – количество поршеньков.

Из этого выражения следует, что средняя теоретическая производительность поршневого ротационного насоса радиального типа зависит от величины эксцентриситета. Таким образом, если в конструкции насоса предусмотреть возможность изменения величины e , то можно изменять производительность насоса. Отношение $\varepsilon = e/e_{\max}$ называется параметром регулирования.

При вращении ротора между поршеньками и статором действует сила N , под действием которой поршеньёк, перемещаясь в роторе, вытесняет жидкость из цилиндрического отверстия (рис. 41).

Разложив силу N на силу F , направленную вдоль поршенька, и силу T , перпендикулярную F , видим, что сила F , создаёт давление под поршеньком, и сила T – момент относительно оси вращения ротора. Если подать под поршеньки жидкость под давлением, то будет возникать сила T , создающая момент, стремящийся вращать ротор. Отсюда следует, что рассматриваемая машина может работать как в режиме насоса, так и в режиме двигателя.

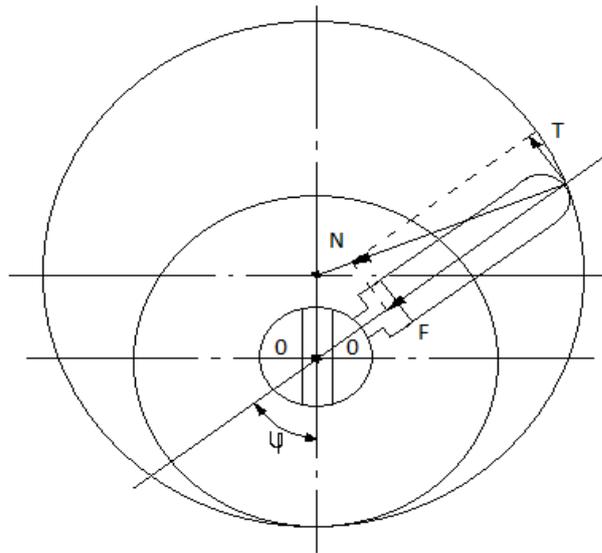


Рис. 41

Следует отметить, что если машина работает в режиме насоса, то она будет работать при любом параметре регулирования, а вот в режиме двигателя вращение ротора будет возможным только тогда, когда суммарный момент, создаваемый поршеньками, будет больше момента сил трения.

Поршневые ротационный насосы радиального типа имеют объёмный КПД до 0,95, давление, развиваемое ими до $300 \cdot 10^5$ Па, производительность – до $0,01 \text{ м}^3/\text{с}$ (около 500 л/мин).

Принципиальная схема поршневого ротационного насоса аксиального типа представлена на рис. 42.

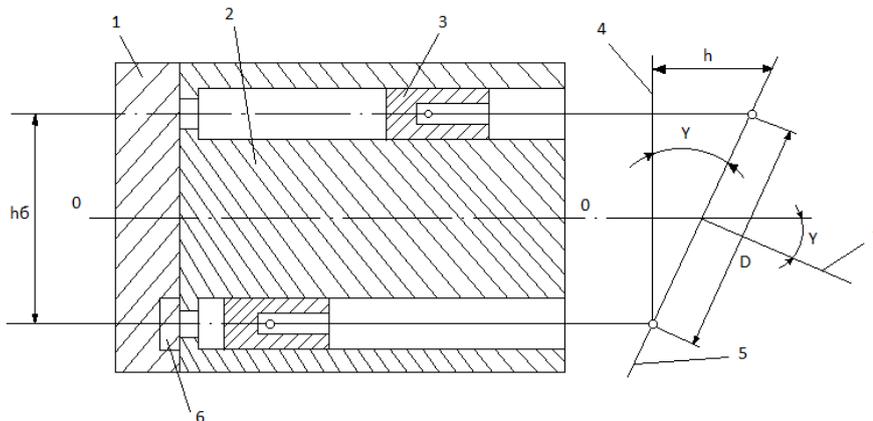


Рис. 42

Насос состоит из неподвижного распределительного диска 1, вращающегося цилиндрического блока 2, поршеньков 3, штоков 4 и наклонного диска 5. В распределительном диске 1 сделаны две серповидные канавки 6, служащие для подвода и отвода жидкости (см. рис. 43).

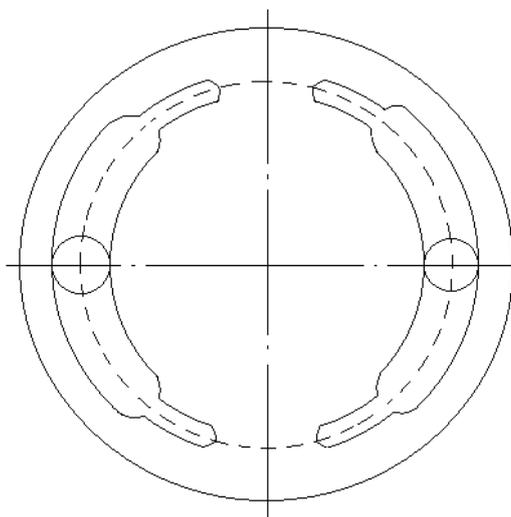


Рис. 43

Вращение наклонного диска и цилиндрического блока осуществляется с помощью вала 7. производительность такого насоса зависит в первую очередь от угла γ . Кинематической основой поршневого ротационного насоса аксиального типа является кривошипно-шатунный механизм. При изменении знака угла γ полости нагнетания и всасывания меняются местами. Эти машины, так же как и машины радиального типа, являются обратимыми, т.е. могут работать как в режиме насоса, так и в режиме двигателя.

Следует отметить, что у аксиальных машин поршеньки либо свободно прижимаются к наклонному диску, либо соединены с ним шарнирами. В некоторых конструкциях вращается цилиндрический блок, в других – наклонный и распределительный диски. В последнем случае машины обладают повышенным быстродействием, т.к. наиболее тяжёлая деталь насоса – цилиндрический блок – неподвижна. Поршневые ротационные насосы аксиального типа более распространены, чем радиальные. Их выходные параметры (Р, КПД, производительность) находятся на уровне радиальных насосов.

На рис. 44 представлена схема ротационного пластинчатого насоса двойного действия.

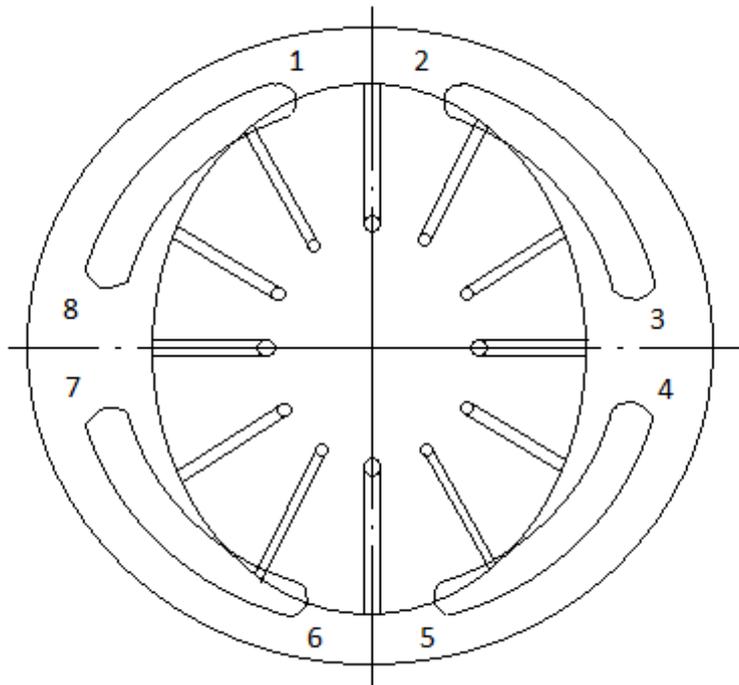


Рис. 44

Основными элементами насоса являются ротор, в радиальных пазах которого находятся пластинки и статор. Статор имеет эллипсообразную внутреннюю поверхность. При вращении ротора по часовой стрелке на участках 2–3 и 6–7 происходит нагнетание жидкости, т.к. уменьшается объём между статором, ротором и пластинками. На участках 4–5 и 8–1 происходит всасывание. Подвод и отвод жидкости осуществляются через окна, сделанные в боковых дисках. Ротационные пластинчатые насосы являются обратимыми машинами, однако они не регулируемы. Работают они при давлениях до $70 \cdot 10^5$ Па и имеют производительность $0,003 \text{ м}^3/\text{с}$. Вследствие трения пластинок о статор к материалам, из которого делают пластинки и статор, предъявляются повышенные требования. Пластины выполняют из быстрорежущей стали, толщиной 2–2,5 мм. Во избежание заклинивания их располагают под углом $6\text{--}13^\circ$ к радиусу ротора.

При вращении зубчатых колёс 1 и 2 шестеренчатого насоса (рис. 45) в направлении, указанном стрелками, жидкость, заключённая во впадинах зубьев, выдавливается в полости нагнетания зубьями, вступающими в зацепление, а в полости всасывания заполняет впадины между зубьями, освобождающихся при выходе зубьев из

зацепления. Поэтому внизу располагается полость всасывания, сверху – нагнетания. В процессе работы подшипники шестерёнчатого насоса воспринимают давление жидкости, действующее на колёса, а также реакцию крутящего момента. Реакция от крутящего момента увеличивает нагрузку на ведомое колесо и уменьшает нагрузку на ведущее. Вот почему для получения равных давлений опорную поверхность подшипника ведомого колеса делают на 15–20% больше опорной поверхности подшипника ведущего колеса.

Шестерёнчатые насосы не регулируются, но являются обратимыми машинами. Они рассчитываются на давления до $30 \cdot 10^5$ Па и производительность до $0,003\text{--}0,004$ м³/с. КПД составляет 0,25–0,60. Объёмный КПД достигает 0,7.

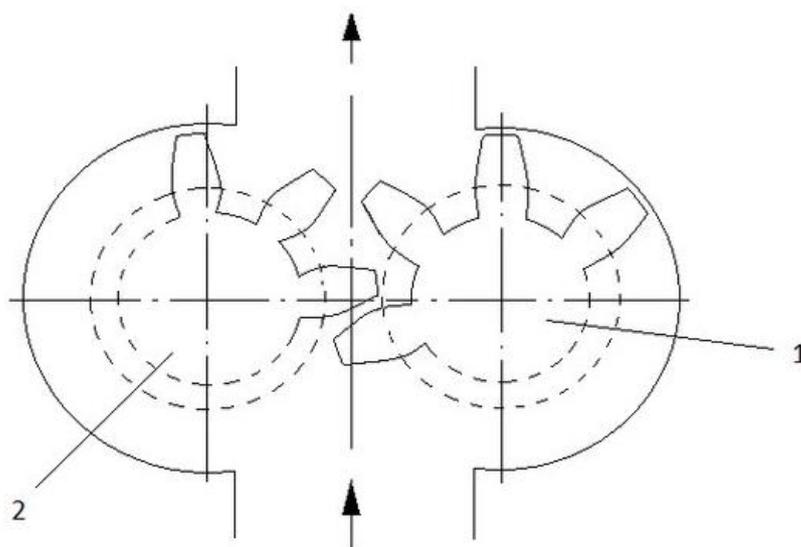


Рис. 45

В пневматических приводах наибольшее распространение получили ротационные, шестерёнчатые, пластинчатые и поршневые пневматические двигатели.

У шестерёнчатых пневматических двигателей энергия сжатого воздуха используется не полностью, а их работа сопровождается шумом. Скорость вращения выходного вала зависит от расхода воздуха и величины нагрузки. Регулирование числа оборотов может быть достигнуто изменением расхода воздуха. Для этого на линии высокого давления ставят дроссель, с помощью которого можно изменять сопротивление подводящего трубопровода.

Широкое применение имеют поршневые пневматические двигатели, например 5-цилиндровый пневматический двигатель, поршни которого приводят во вращение коленчатый вал. Впуск и выпуск воздуха осуществляется специальным распределительным устройством.

Как в гидро-, так и в пневмоприводах очень широко применяют силовые цилиндры. Силовые цилиндры делятся на силовые цилиндры простого, дифференцированного и двойного действия, принципиальные схемы которых представлены на рис. 46, а, б и в соответственно.

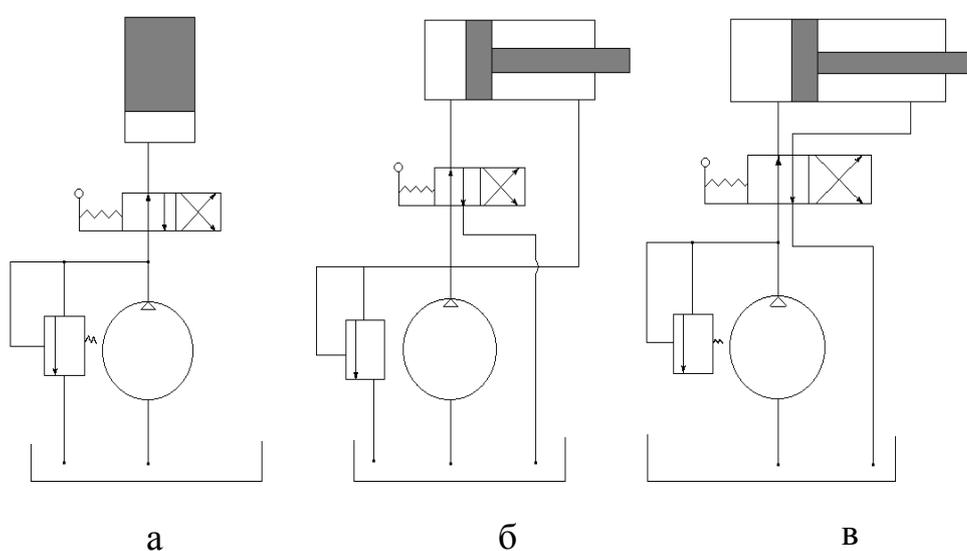


Рис. 46 (а–б)

У силового цилиндра простого действия жидкость подводится только в одну полость (нижнюю). Возврат поршня осуществляется под действием его собственного веса при соединении нижней полости цилиндра с линией слива.

У силовых цилиндров дифференциального действия одна полость постоянно соединяется с линией высокого давления (штоковая полость), а вторая – либо с линией высокого давления, либо с линией слива.

У силовых цилиндров двойного действия обе полости являются рабочими. При соединении одной из полостей с линией высокого давления вторая соединяется с линией слива. Силовые цилиндры простого действия применяются очень редко, силовые цилиндры

дифференциального действия значительно чаще, особенно в прессах. Силовые цилиндры двойного действия из рассмотренных типов, обладают самым высоким КПД.

Мембранные приводы, нашедшие применение в пневматических системах, подразделяются на два типа: привод простого действия и привод двойного действия. Их схемы представлены на рис. 47, а, б.

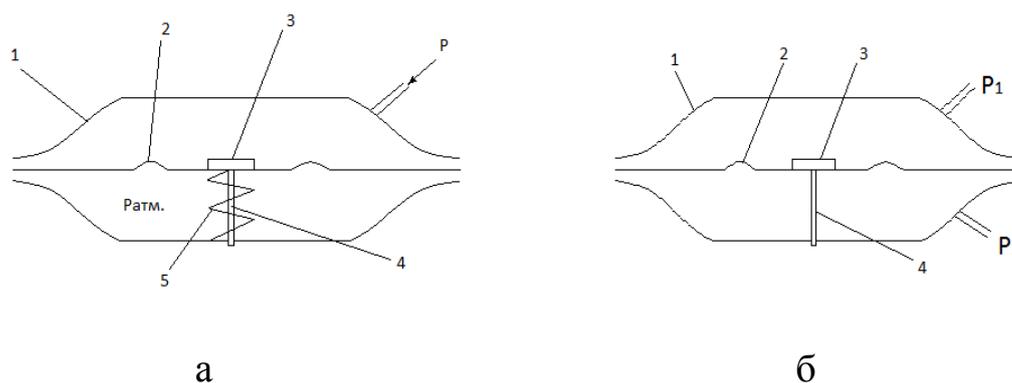


Рис. 47 (а–б)

13.2. Распределительная часть привода

В распределительную часть привода входят распределительные устройства, дроссели, предохранительные, обратные и редукционные клапаны, напорные золотники, мультипликаторы и трансформаторы давления, реле давления и времени, регуляторы скорости, фильтры, баки, аккумуляторы.

Распределительные устройства делятся на краны управления, золотниковые и клапанные устройства. Золотниковые распределительные устройства делятся на два типа: двухпозиционные и трёхпозиционные. У двухпозиционных плунжер занимает два положения – крайнее левое и крайнее правое, у трёхпозиционных – ещё и среднее положение. Для перемещения плунжера золотника применяют ручное управление, управление от двух электромагнитов и электрогидравлическое управление с помощью электромагнитов и распределителей (рис. 48, а–е).

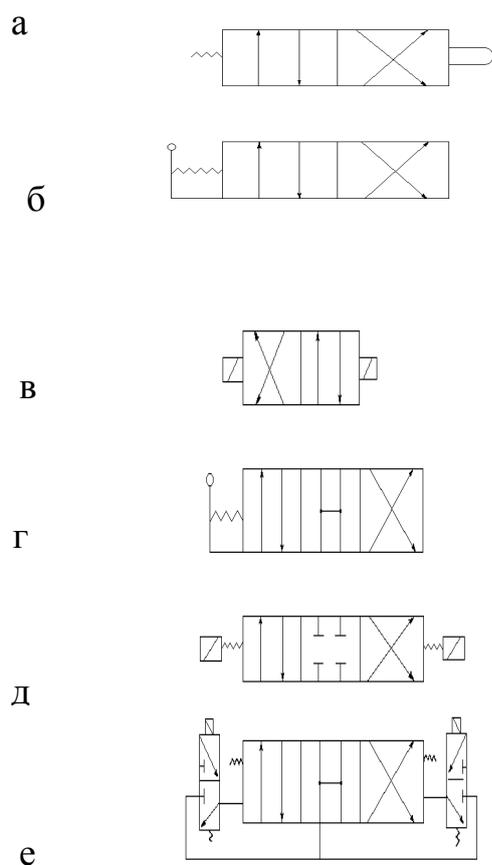


Рис. 48 (а–е)

По сравнению с золотниковыми, клапанные распределительные устройства обладают более герметичными качествами, но применяются они только при малых расходах жидкости или газа.

Предохранительные клапаны предназначены для защиты системы от чрезмерно высоких давлений.

Обратными клапанами называются устройства, обеспечивающие одностороннее пропускание жидкости или газа.

Дроссели и регуляторы скорости применяются для регулирования скорости перемещения или вращения рабочего органа двигателя. В зависимости от вида проходного отверстия дроссели делятся на игольчатые, канавочные, щелевые и пластинчатые. Основная функция дросселя заключается в изменении сопротивления движению жидкости или газа.

Мультипликаторы и трансформаторы предназначены для увеличения давления в системе.

Все перечисленные выше распределительные устройства применяются как в системах гидропривода, так и в системах пневмопривода. Различительными характеристиками являются: конструктивные, прочностные, герметические.

14. Рабочие органы исполнительных устройств

В качестве РО в ИУ систем автоматического управления используются дросселирующие устройства, обеспечивающие изменение производительности технологических коммуникаций (трубопроводы, воздухопроводы и пр.), связанных с объектом управления (ОУ). То есть РО предназначены для непосредственного управления потоками продукта или энергоносителя в трубопроводах.

По назначению подразделяются на запорные (полностью открывают или закрывают трубопровод) и регулирующие (поддерживают необходимую подачу продукта или энергоносителя, в соответствии с управляющим воздействием регулирующего устройства).

На рис. 49 (а-д) приведены принципиальные схемы РО.

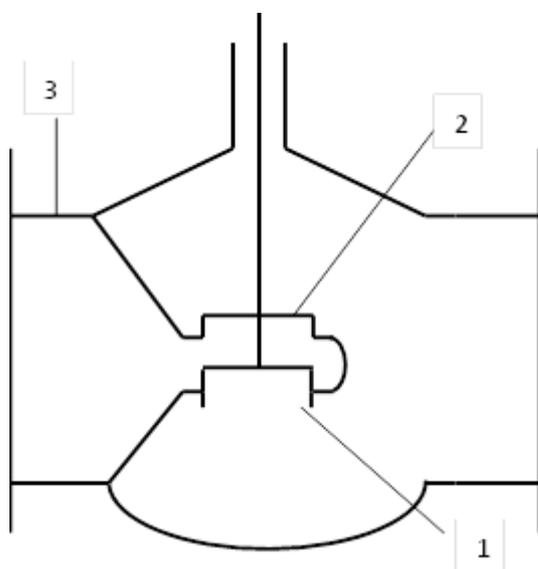


Рис. 49 (а)

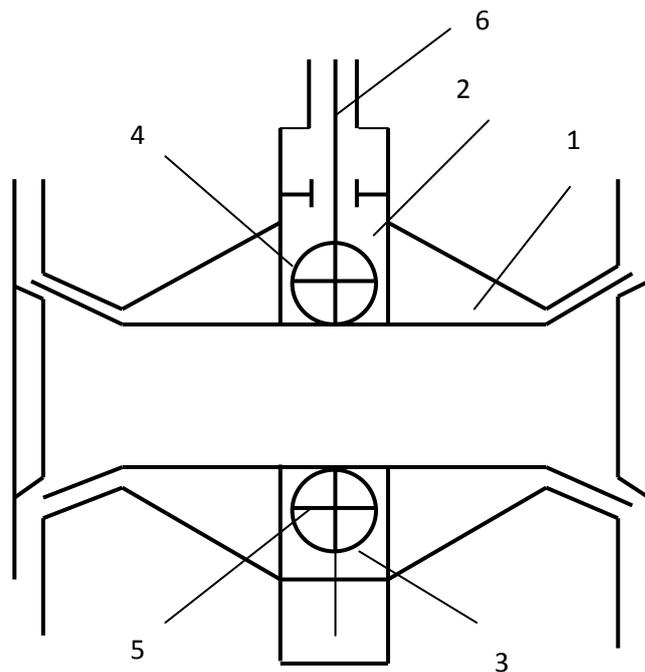


Рис. 49 (б)

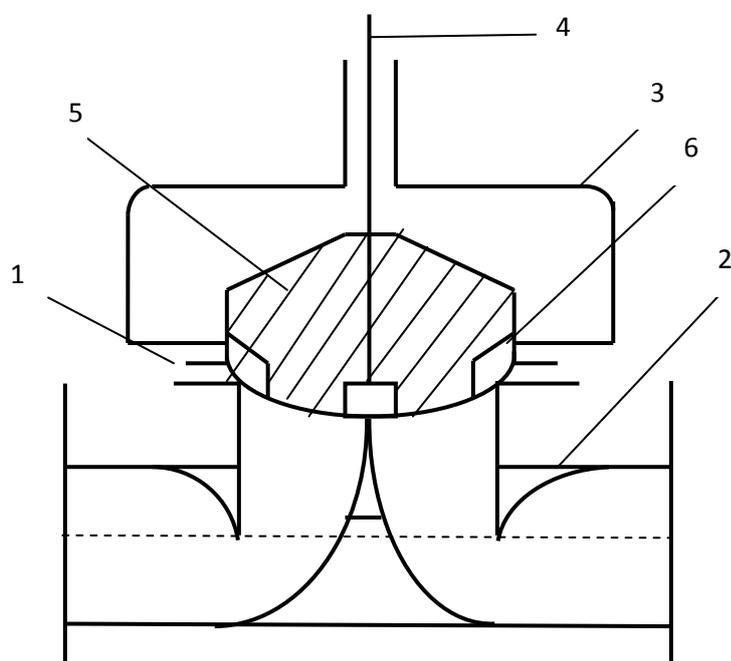


Рис. 49 (в)

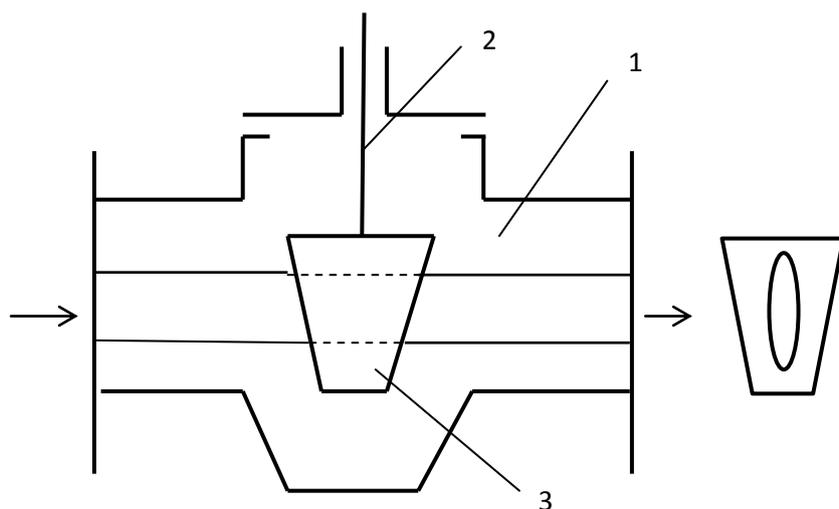


Рис. 49 (г)

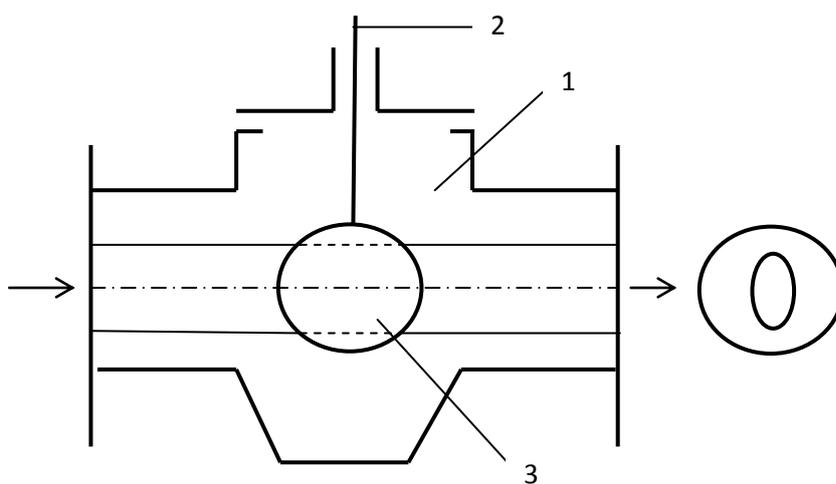


Рис. 49 (д)

В зависимости от направления управляющего механического воздействия и перемещению подвижного элемента запорного устройства РО подразделяются на: клапаны - управляющее воздействие и перемещение запорного устройства имеют возвратно-поступательный характер; краны - управляющее воздействие и перемещение запорного устройства имеют поворотный характер; вентили - управляющее воздействие имеет вращательный характер, а запорное устройство совершает поступательное движение; задвижки (заслонки)

отличаются тем, что запорное устройство имеет вид плоской пластины, полностью или частично перекрывающей сечение трубопровода.

На рис. 50, а показана кинематическая схема соединения ИМ, выходной элемент которого имеет вращательное движение с РО, который также имеет вращательное движение. По такой схеме могут соединяться электродвигательный ИМ с РО типа «кран» или «вентиль». Кривошип 1 представляет собой диск или рычаг, закрепленные на выходном вале ИМ. Кривошип 3 - рукоятка крана или вентиля. Между собой они соединяются шатуном (штоком) 2. При соединении с вентиляем применяют многооборотные ИМ.

На рис. 50, б показана кинематическая схема соединения ИМ, выходной элемент которого имеет поступательное движение (шток 2), с РО, имеющим вращательное движение (кривошип 3). По такой схеме соединяются пневматические ИМ с кранами.

На рис. 50, в показана кинематическая схема соединения пневматического ИМ с РО типа «клапан» или «задвижка». Передача движения происходит с помощью штока 2.

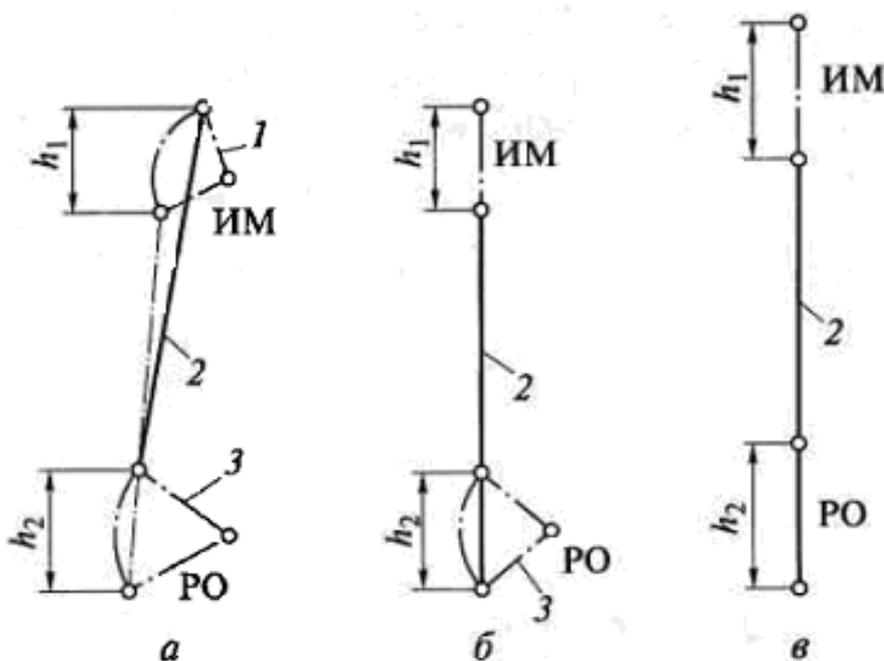


Рис. 50 (а-в)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Подлипенский В.С., Сабинин Ю.А., Юрчук Л.Ю.** Элементы и устройства автоматики / Под ред. Ю.А. Сабинина. – СПб.: Политехника, 1995.
2. **Юферов Ф.М.** Электрические машины автоматических устройств. – М.: Высш. шк., 1998.
3. **Шишмарев В.Ю.** Типовые элементы систем автоматики. – М.: Изд. центр «Академия», 2004.
4. **Коновалов Л.И., Петелин Д.П.** Элементы и системы автоматики. – М.; Высш. шк., 1985.
5. **Стегаличев Ю.Г., Васильев А.И.** Технические средства автоматизации для перерабатывающих производств Агропрома: Учеб. пособие. – СПб.: ЛТИ им. Ленсовета, 1992.
6. **Погорелов В.И.** Элементы и системы гидропневмоавтоматики: Учеб. пособие.– Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1979.
7. **Селевцов Л.И.** Автоматизация технологических процессов. – М.: Изд. центр «Академия», 2011.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Исполнительные устройства	9
2. Электромагниты	9
2.1. Электромагниты постоянного тока	9
2.2. Тяговая и механическая характеристики ЭМ	10
2.3. Динамика электромагнита	11
2.4. Электромагниты поляризованные	12
2.5. Электромагниты переменного тока	13
3. Электромагнитные муфты	15
3.1. Ферропорошковые муфты	18
3.2. Муфты скольжения	19
4. Герконы (герметизированные магнитоуправляемые контакты)	19
5. Магнитные усилители	20
5.1. Трансформаторы	23
6. Феррорезонансные устройства	26
6.1. Принципы построения феррорезонансных стабилизаторов напряжения	27
6.2. Феррорезонансные преобразователи частоты	32
7. Электромашинные устройства (ЭМУ).....	32
7.1. ЭМУ постоянного тока с преобразователями	32
7.2. Электромашинные усилители	33
7.3. Тиристорные приводы	37
7.4. Импульсное управление двигателями	40
7.5. Вентильные двигатели	41
8. Электрические машины переменного тока	43
8.1. Управление трехфазными двигателями	44
8.2. Частотное управление	44
8.3. Управление двухфазными двигателями	45
9. Шаговые двигатели	46
10. Моментные двигатели	48
11. Двигатели для микроперемещений	49
12. Тахогенераторы	51

13. Гидравлические и пневматические приводы	52
13.1. Насосы и двигатели	54
13.2. Распределительная часть привода	61
14. Рабочие органы исполнительных устройств	63
Список литературы	67



В 2009 году Университет стал победителем многоэтапного конкурса, в результате которого определены 12 ведущих университетов России, которым присвоена категория «Национальный исследовательский университет». Министерством образования и науки Российской Федерации была утверждена программа его развития на 2009–2018 годы. В 2011 году Университет получил наименование «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики».

ИНСТИТУТ ХОЛОДА И БИОТЕХНОЛОГИЙ



Институт холода и биотехнологий является преемником Санкт-Петербургского государственного университета низкотемпературных и пищевых технологий (СПбГУНиПТ), который в ходе реорганизации (приказ Министерства образования и науки Российской Федерации № 2209 от 17 августа 2011г.) в январе 2012 года был присоединен к Санкт-Петербургскому национальному исследовательскому университету информационных технологий, механики и оптики.

Созданный 31 мая 1931года институт стал крупнейшим образовательным и научным центром, одним их ведущих вузов страны в области холодильной, криогенной техники, технологий и в экономике пищевых производств.

В институте обучается более 6500 студентов и аспирантов. Коллектив преподавателей и сотрудников составляет около 900 человек, из них 82 доктора наук, профессора; реализуется более 40 образовательных программ.

Действуют 6 факультетов:

- холодильной техники;
- пищевой инженерии и автоматизации;
- пищевых технологий;
- криогенной техники и кондиционирования;

- экономики и экологического менеджмента;
- заочного обучения.

За годы существования вуза сформировались известные во всем мире научные и педагогические школы. В настоящее время фундаментальные и прикладные исследования проводятся по 20 основным научным направлениям: научные основы холодильных машин и термотрансформаторов; повышение эффективности холодильных установок; газодинамика и компрессоростроение; совершенствование процессов, машин и аппаратов криогенной техники; теплофизика; теплофизическое приборостроение; машины, аппараты и системы кондиционирования; хладостойкие стали; проблемы прочности при низких температурах; твердотельные преобразователи энергии; холодильная обработка и хранение пищевых продуктов; тепломассоперенос в пищевой промышленности; технология молока и молочных продуктов; физико-химические, биохимические и микробиологические основы переработки пищевого сырья; пищевая технология продуктов из растительного сырья; физико-химическая механика и тепло-и массообмен; методы управления технологическими процессами; техника пищевых производств и торговли; промышленная экология; от экологической теории к практике инновационного управления предприятием.

В институте создан информационно-технологический комплекс, включающий в себя технопарк, инжиниринговый центр, проектно-конструкторское бюро, центр компетенции «Холодильщик», научно-образовательную лабораторию инновационных технологий. На предприятиях холодильной, пищевых отраслей реализовано около тысячи крупных проектов, разработанных учеными и преподавателями института.

Ежегодно проводятся международные научные конференции, семинары, конференции научно-технического творчества молодежи.

Издаются журнал «Вестник Международной академии холода» и электронные научные журналы «Холодильная техника и кондиционирование», «Процессы и аппараты пищевых производств», «Экономика и экологический менеджмент».

В вузе ведется подготовка кадров высшей квалификации в аспирантуре и докторантуре по 11 специальностям.

Действуют два диссертационных совета, которые принимают к защите докторские и кандидатские диссертации.

Вуз является активным участником мирового рынка образовательных и научных услуг.

**Балюбаш Виктор Александрович
Добряков Владимир Александрович
Назарова Виктория Владимировна**

**СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ
И УПРАВЛЕНИЯ
Часть 1**

Учебно-методическое пособие

Ответственный редактор
Т.Г. Смирнова

Компьютерная верстка
И.В. Гришко

Дизайн обложки
Н.А. Потехина

*Печатается
в авторской редакции*

Подписано в печать 27.11.2014. Формат 60×84 1/16

Усл. печ. л. 4,19 Печ. л. 4,5 Уч.-изд. л. 4,25

Тираж 50 экз. Заказ № С 74

НИУ ИТМО. 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49
ИИК ИХиБТ. 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9