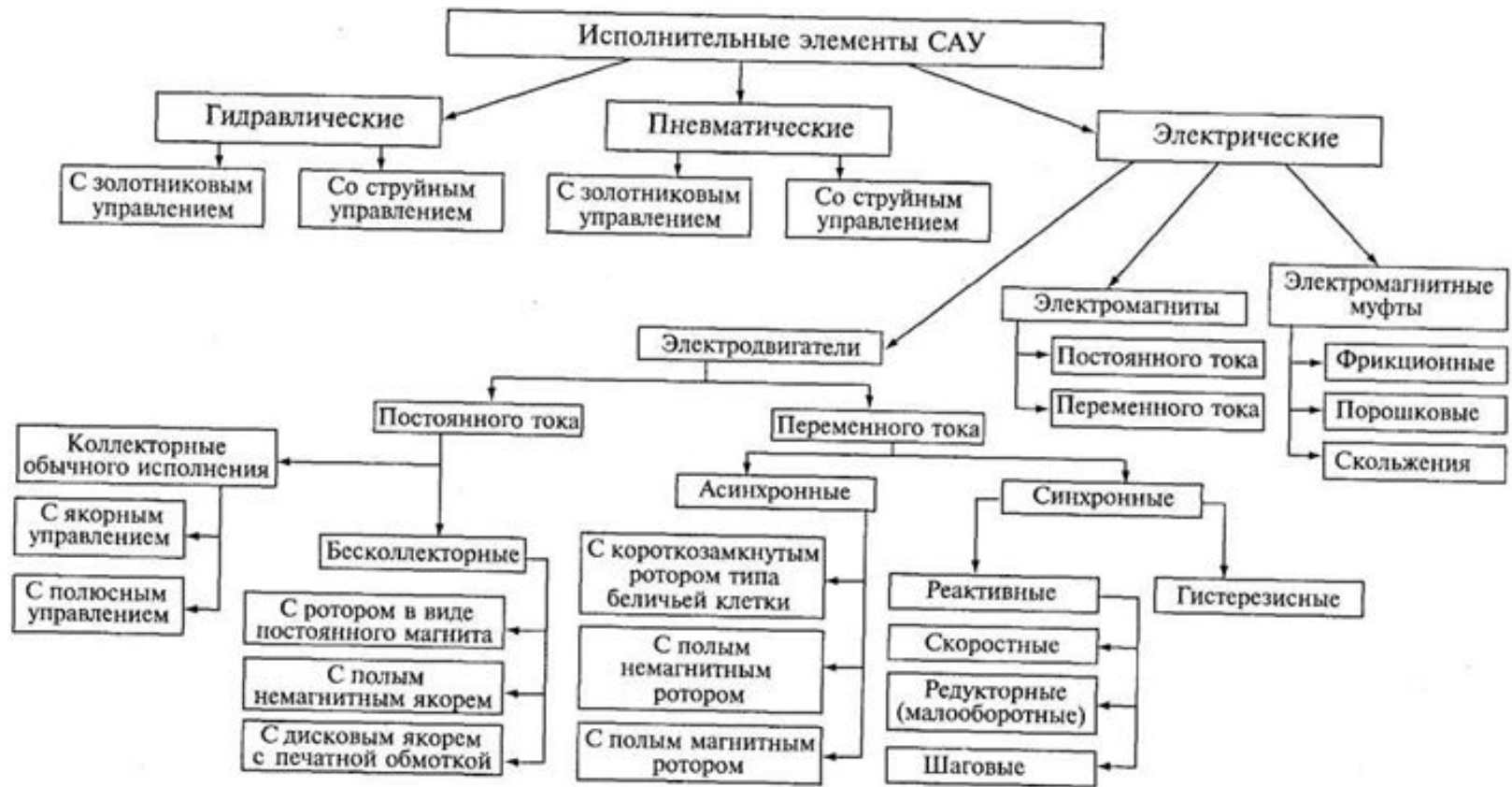


## Классификация исполнительных элементов

Исполнительные элементы (ИЭ) систем автоматики предназначены для создания управляющего воздействия на регулирующий орган (РО) объекта управления (ОУ). При этом изменяется положение или состояние РО, что приводит в конечном итоге к изменению положения или состояния ОУ в соответствии с алгоритмом управления.



В зависимости от управляющего воздействия на выходе ИЭ делятся на два вида: **силовые и параметрические.**

Изменение пространственного положения РО возможно в том случае, если ИЭ создают управляющее воздействие в виде силы или момента. Такие ИЭ получили название **силовых**. К ним относятся электромагниты, электромеханические муфты, различные виды двигателей.

Например, в системе автоматического управления полетом летательного аппарата по высоте ИЭ является двигатель, изменяющий положение руля высоты при отклонении действительного значения высоты от заданного. Устройство, содержащее двигатель, редуктор и элементы управления двигателем (усилитель, реле, контактор, золотниковый распределитель и т.п.), называют силовым приводом, или просто приводом. В зависимости от вида энергии, подводимой к двигателю, различают электро-, пневмо- и гидроприводы. Находят применение и комбинированные приводы: электрогидравлический и пневмогидравлический.

Еще одним вариантом ИЭ является следящий привод, который воспроизводит на выходе заданное на входе перемещение, но с большим механическим усилием, т.е. момент или сила на выходе его существенно больше, чем на входе. Следящий привод широко применяется в автоматических манипуляторах (роботах), станках с числовым программным управлением (ЧПУ), для управления прокатными станами, антеннами радиолокаторов, в космической и ракетной технике и т. д.

Следящий привод является частным случаем следящих систем, формально этот привод относится не к элементам автоматики, а к устройствам, так как в нем объединяются несколько элементов. Но в сложных (комплексных) САУ привод может рассматриваться как один функциональный элемент - исполнительный.

Изменение состояния РО связано с изменением его параметров (сопротивления, магнитного потока, температуры, скорости и т.п.) или параметров энергии, подводимой к нему (напряжения, тока, частоты, фазы - в электрических устройствах; давления рабочей среды - в пневматических и гидравлических устройствах).

Исполнительные элементы, изменяющие состояние РО, называются *параметрическими*. Например, в автоматическом управляющем устройстве термостата ИЭ является усилитель, нагрузкой которого служит нагревательный элемент РО термостата. При отклонении температуры от заданного значения изменяется входное напряжение усилителя; при этом изменяется и выходное напряжение, а следовательно, и ток в нагревательном элементе и температура в термостате. В этом устройстве усилитель совмещает в себе функции и усилителя, и ИЭ. Он создает управляющее воздействие (напряжение, ток), изменяющее температуру нагревательного элемента, например РО. Такое использование усилителей довольно часто встречается в устройствах автоматики. Усилители одновременно являются основным видом параметрических ИЭ.

Особенно часто в качестве параметрических ИЭ используются электромагнитные реле, контакторы, тиристорные и транзисторные реле.

Силовые ИЭ в зависимости от характера движения их выходного вала можно разделить на три вида: с линейным, поворотным (угол поворота меньше  $360^\circ$ ) и вращательным (угол поворота больше  $360^\circ$ ) движениями. Статистическая характеристика ИЭ может быть линейной, нелинейной, реверсивной, нереверсивной и т.д.

Основными требованиями, которым должны удовлетворять характеристики и параметры ИЭ, являются следующие:

1. максимальная сила или момент, развиваемые ИЭ, должны быть заведомо больше, чем максимальная сила или момент, необходимые для перемещения РО объекта управления во всех режимах работы;
2. высокое быстродействие;
3. максимальный КПД;
4. статическая характеристика ИЭ должна быть близка к линейной, если в процессе работы управляющее воздействие, создаваемое ИЭ, должно плавно регулироваться;
5. минимальный порог чувствительности; небольшая мощность управления ИЭ; высокая надежность и долговечность; небольшие размеры и масса.

**Исполнительный элемент {исполнительное устройство}** - функциональный элемент системы автоматического управления, осуществляющий воздействие на объект управления путем изменения потока энергии и потока материалов, поступающих на объект.

Исполнительные элементы в основном бывают двух типов:

1. с механическим двигателем (в частности, сервомотор, серводвигатель или сервопривод), в этом случае исполнительный элемент производит механическое перемещение регулирующего органа;
2. с электрическим выходом, в этом случае воздействие, непосредственно прикладываемое к объекту регулирования, имеет электрическую природу.

Например, в регуляторе напряжения генератора постоянного тока регулирующим воздействием является напряжение возбуждения, получаемое от усилителя.

В зависимости от характера объекта и вида вспомогательной энергии, применяемой в системе автоматического управления, роль исполнительных элементов выполняют самые разные конструктивные элементы: электронные, электромашинные, магнитные или полупроводниковые усилители, реле, пневматические или гидравлические сервомоторы и др.

**Исполнительный механизм (сервопривод)** - исполнительный элемент с механическим выходом. Исполнительные механизмы классифицируются по назначению и типу управляемых элементов, виду осуществляемых перемещений, роду применяемой энергии.

Исполнительные механизмы предназначены для привода:

1. элементов, регулирующих потоки энергии, жидкости, газа, сыпучих и перемещаемых твердых тел (реостатов, клапанов, задвижек и заслонок, направляющих аппаратов турбин и насосов, шлагбаумов и других устройств);
2. элементов следящих систем (копировальных станков, манипуляторов, автокомпенсационных, регулирующих и других устройств);
3. рулевых устройств транспортных объектов;
4. особых элементов систем управления (противовесов в грузоподъемных сооружениях, зажимных автоматических устройств и т.п.).

К числу контрольных элементов исполнительных механизмов относятся:

1. механизм обратной связи, определяющий характеристику регулятора либо обеспечивающий передачу сигнала на дистанционный указатель положения исполнительного механизма;
2. концевые или путевые выключатели, которые останавливают исполнительный механизм в крайних, а иногда и промежуточных положениях (например, трехпозиционный исполнительный механизм), и концевые выключатели, в некоторых случаях выполняющие сигнальные функции;
3. измеритель вращающего момента на выходной оси исполнительного механизма, обеспечивающий выключение двигателя или его проскальзывание в специальной муфте после достижения предельно допустимого момента, что необходимо для получения запорного или зажимного действия исполнительного механизма или предохранения его от аварий в случае попадания под управляемое устройство посторонних предметов;
4. тормозное устройство при быстроходных двигателях для борьбы с инерцией в момент остановки;
5. защелка с выключателем главного соленоида и спускное расцепляющее устройство в исполнительном механизме с соленоидами большой мощности.

**Исполнительный механизм электрический** - исполнительный механизм, в котором перемещение регулирующего органа производится за счет электрической энергии. Электрические исполнительные механизмы бывают двух основных типов:

1. с приводом от электродвигателя (наиболее широко распространены в схемах общепромышленной автоматики);
2. с приводом от электромагнита (обычно соленоида).

В электрических исполнительных механизмах применяются асинхронные двигатели. Для исполнительных устройств малой мощности - двухфазные с короткозамкнутым или полым ротором, для более мощных - трехфазные с короткозамкнутым или массивным ротором. Для уменьшения выбега двигателя и улучшения качества регулирования используется электрическое торможение или электромагнитные тормоза, которые накладываются при снятии с двигателя напряжения питания.

Управление электрическим исполнительным механизмом с помощью соответствующих обратных связей можно построить так, чтобы перемещение регулирующего органа или скорость его движения изменялись пропорционально сигналу управления.

Конструктивно электродвигательные исполнительные механизмы выполняются, как правило, с вращательным движением выходного вала и реже с поступательным перемещением выходного штока. В системах общепромышленной автоматики для привода заслонок, кранов, шиберов и других устройств наиболее часто применяются однооборотные электрические исполнительные механизмы, в которых поворот выходного вала составляет  $120... 170^\circ$ . С помощью многооборотных электрических исполнительных механизмов обычно перемещаются такие регулирующие органы, как запорные вентили и задвижки.



## Блок-схема электродвигательного исполнительного механизма.

Работает следующим образом.

Двигатель Д через редуктор Р перемещает

Регулирующий орган РО. Сигнал  $U_c$

Поступающий на вход электрического

исполнительного механизма, имеет

обычно недостаточную мощность для

управления двигателем, поэтому он

предварительно усиливается усилителем У.

Концевые выключатели КВ служат для

ограничения перемещения РО. Оператор

может устанавливать РО с помощью устройства дистанционного

управления ДУ, контролируя его положение прибором П, а при

неисправности ДУ - штурвалом ручного управления РУ. Датчики обратной связи по

положению ОСП и датчики обратной связи по скорости ОСС служат для ввода

дополнительных сигналов, необходимых для получения требуемых характеристик от

электрического исполнительного механизма.

Инерционность привода электрического исполнительного механизма, определяемая

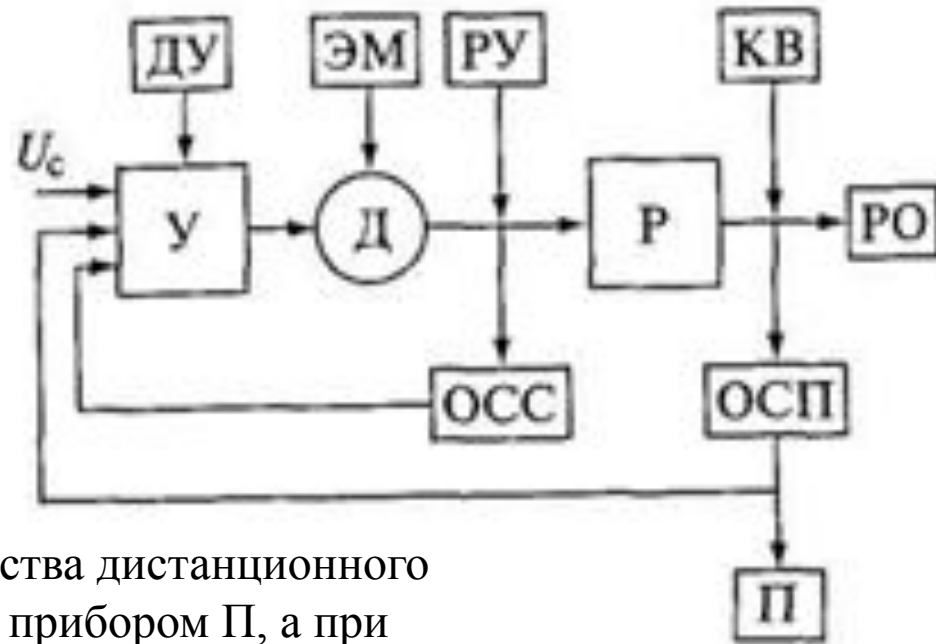
временем от начала движения регулирующего органа до установления полной

скорости, зависит от соотношения между пусковым моментом двигателя и моментом

инерции привода. Пусковой момент обычно в 2...2,5 раза больше номинального.

Важной характеристикой электрического исполнительного механизма является время

запаздывания - время от момента подачи сигнала до начала вращения выходного вала



Номинальный момент  $M$  на выходном валу и время  $T$  полного оборота выходного вала, т. е. быстродействие, являются основными характеристиками электродвигательного исполнительного механизма.

Мощность на валу двигателя  $P$ , необходимая для обеспечения заданных времени  $T$  и момента  $M$ , определяется по формуле

$$P = \frac{61,5M}{T\eta}$$

## Классификация муфт

Передачу вращающего момента с ведущего входного вала (чаще всего вала приводного двигателя) на соосный ведомый входной вал (вал приводимого механизма, механической нагрузки) осуществляют с помощью муфт.



## Муфты скольжения

Муфты скольжения (МС) 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.

Из всего конструктивного и функционального многообразия МС рассмотрим широко распространенные *муфты индукторного типа с массивным якорем* как наиболее простые в изготовлении и эксплуатации.

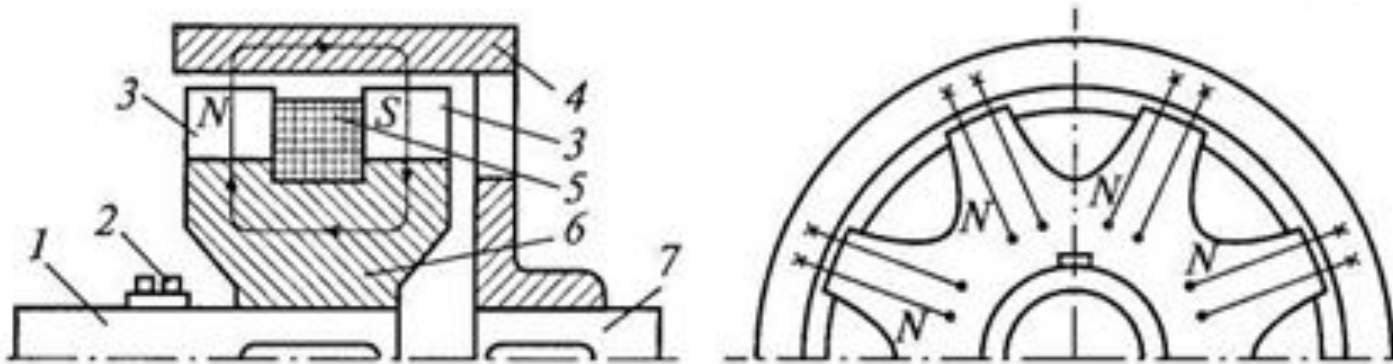
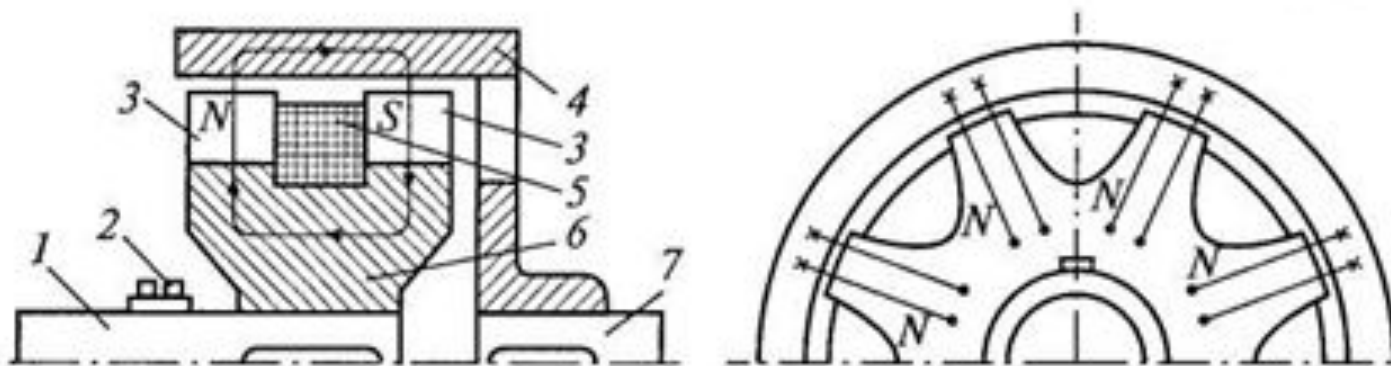
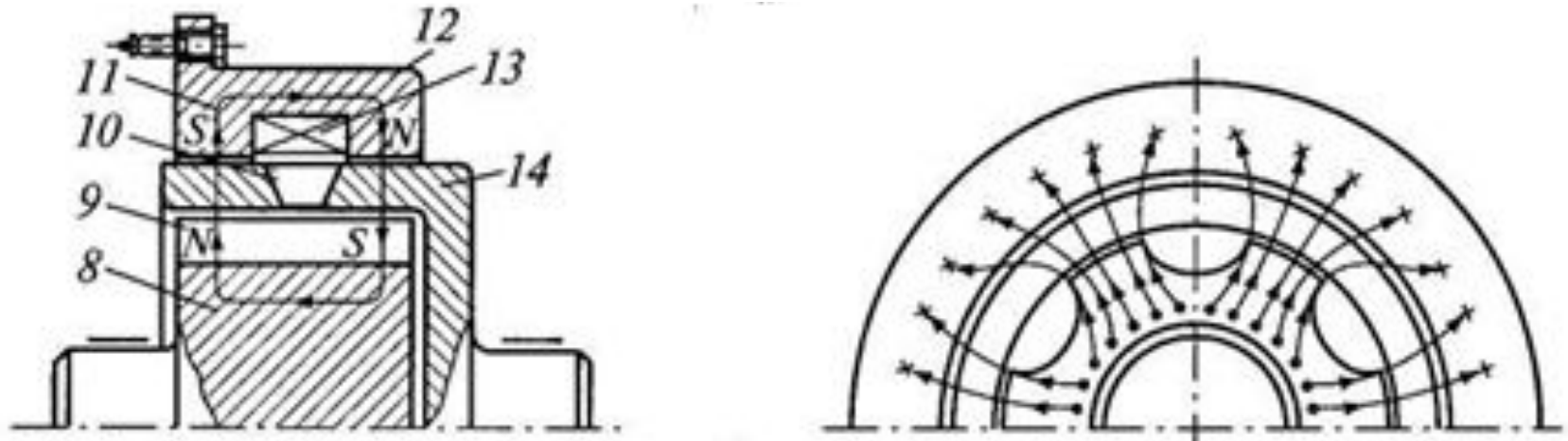


Схема муфты индукторного типа со скользящими токоподводящими контактами, основными частями которой являются якорь 4 и индуктор 6. Между двумя рядами зубцов 3 муфты размещена кольцевая обмотка 5, питание к которой подводится с помощью колец 2. Такую конструкцию называют одноименнополюсной, потому что зубцы каждого ряда имеют одинаковую полярность. Индуктор с помощью шлицев соединяется с ведущим валом 1, а якорь посажен на ведомом валу 7. При вращении индуктора вследствие механического перемещения электромагнитов возникает вращающееся магнитное поле. Взаимодействие наводимых при этом в якоре вихревых токов с вращающимся магнитным полем движет якорь в сторону вращения индуктора.

Выделим на внутренней поверхности якоря контуры, соответствующие очертаниям зубцов полюсов  $N$  и  $S$ . При вращении индуктора потокосцепления с выделенными контурами уменьшаются и в соответствии с законом электромагнитной индукции в якоре наводятся вихревые токи. Согласно принципу Ленца их направления должны быть такими, чтобы создаваемый ими магнитный поток был направлен согласно с магнитным потоком обмотки, а механические силы от взаимодействия последнего с вихревыми токами вызывали движение якоря за индуктором. Можно сказать, что на внутренней поверхности якоря против каждого полюса  $N$  индуктора возникает полюс  $S$ , а против полюса  $S$  индуктора - полюс  $N$  на якоре. Взаимное притяжение этих полюсов противоположных полярностей заставляет ведомый вал вращаться в сторону ведущего.

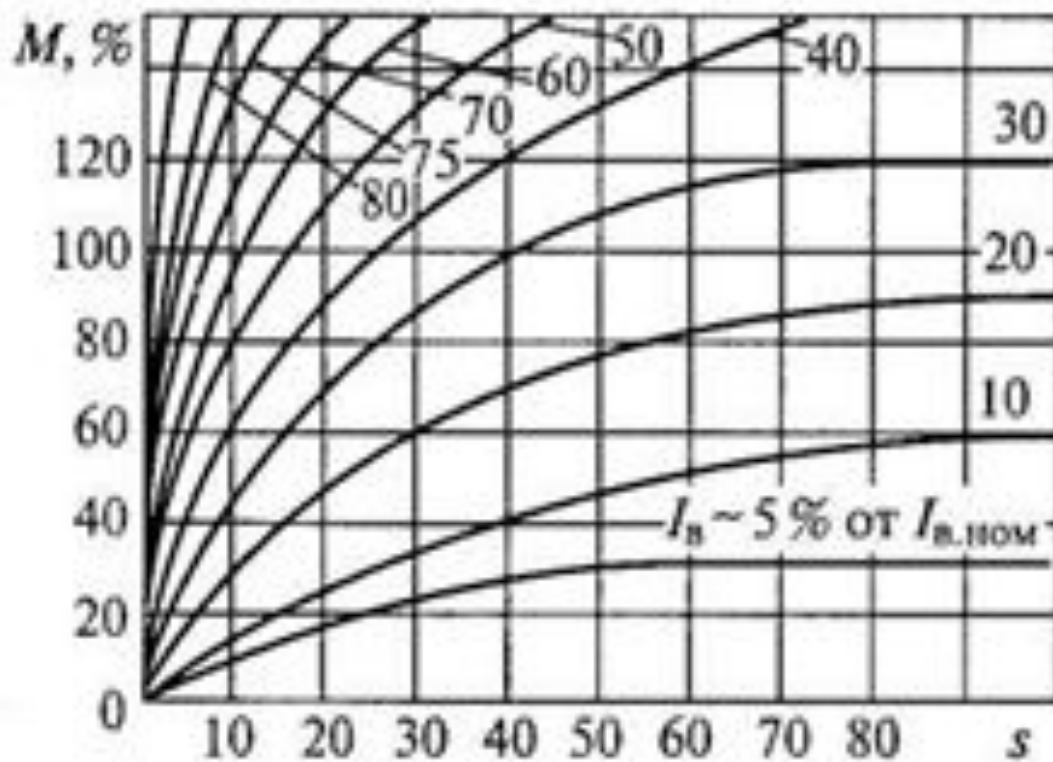


## Схема магнитной системы бесконтактной МС индукторного типа.



В неподвижной части *12* магнитопровода этой муфты размещена кольцевая обмотка *13*. Якорь *14* состоит из двух ферромагнитных половин цилиндрической формы, которые соединяются немагнитным кольцом *10*, препятствующим замыканию магнитного потока *11* по якорю. Проходя по индуктору *8*, этот поток намагничивает зубцы *9*. Если на внутренней поверхности якоря при вращении индуктора магнитная индукция по окружности изменяется, наводя вихревые токи в якоре, то на внешней его поверхности магнитное поле близко к однородному, благодаря чему якорь *14* практически не взаимодействует с неподвижной частью *12*. Бесконтактное исполнение увеличивает эксплуатационную надежность МС, однако при этом неизбежны повышенный расход меди в обмотке и увеличенные размеры магнитной системы. Это объясняется необходимостью создания большей МДС для преодоления дополнительного, нерабочего зазора между неподвижной частью магнитопровода и внешней поверхностью якоря.

Для МС большой мощности, выполняемой с якорем в виде беличьей клетки, на рис. 16.4, в приведены механические характеристики зависимости момента от скольжения  $M(s)$  при неизменных токе возбуждения ( $I_B = \text{const}$ ) и частоте вращения приводного двигателя ( $n_1 = \text{const}$ ). Каждому значению тока возбуждения соответствует своя механическая характеристика. С ростом  $I_B$  уменьшается  $s$  вследствие большей связи якоря с индуктором через более сильное магнитное поле.



### Важнейшие достоинства МС:

- простота конструкции и управления,
- низкая стоимость,
- отсутствие изнашивающихся деталей, что обуславливает повышенный эксплуатационный ресурс.
- ограничение вращающего момента,
- регулирование тормозного усилия по любому закону,
- предохранение электропривода от поломок,
- пуск приводного двигателя вхолостую и с моментом сопротивления, превышающим пусковой момент.

### Основными недостатками МС являются:

- значительные размеры,
- масса и потери энергии при длительной работе с большими скольжениями (мощность потерь пропорциональна  $s$ ).



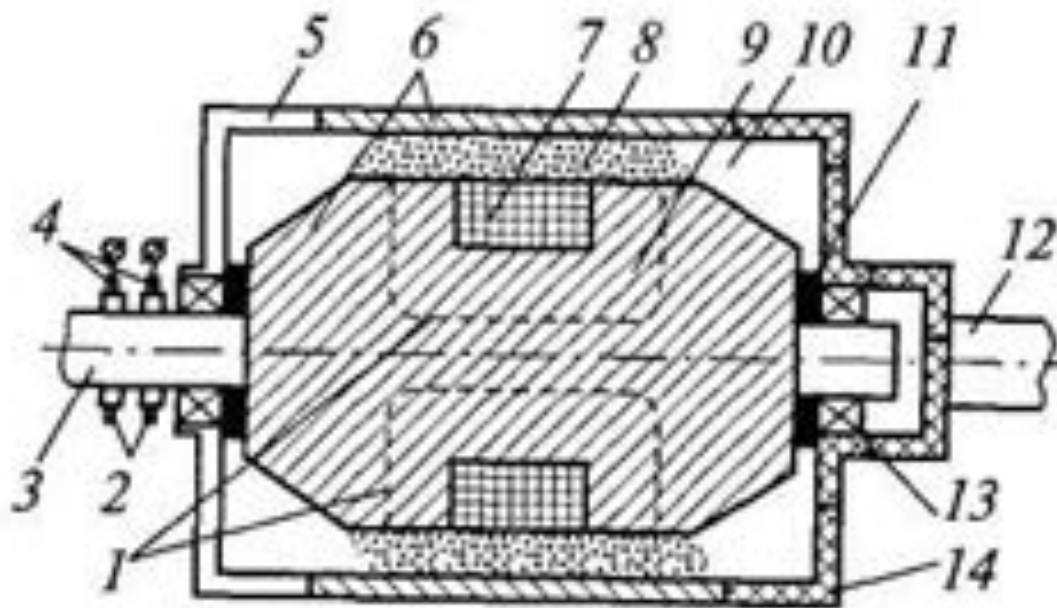
## Ферропорошковые муфты.

Ферропорошковые муфты (ФПМ) предназначены в основном для гибкого сцепления валов, хотя могут применяться и для жесткого сцепления.

Конструктивное отличие ферропорошковых муфт с сухим или жидким наполнителем и электромагнитным управлением от рассмотренных ранее фрикционных муфт (ФМ) с таким же управлением заключается в том, что, во-первых, полумуфта на ведомом валу посажена жестко и, во-вторых, неизменный поэтому воздушный рабочий зазор заполнен магнетодиэлектриком. Последний представляет собой или смесь ферромагнитного порошка (стали, легированной хромом или никелем; карбонильного железа; пермаллоя и др.) с сухим диэлектриком (коллоидным графитом, тальком, тонкодисперсным стеклом и т.д.), называемым разделителем и служащим для предотвращения комкования и существенного уменьшения изнашивания муфты при высоких температурах, или взвесь ферромагнитного порошка (чаще всего карбонильного железа) в жидком диэлектрике (обычно кремнийорганическом или минеральном масле), предохраняющем порошок от окисления и комкования.

Такие наполнители-магнетодиэлектрики обладают свойством тиксотропии, т.е. способностью становиться студенистыми, все более загустевая вплоть до затвердевания по мере усиления магнитного поля, а при снятии его возвращаться в исходное состояние. Ориентируясь по силовым линиям поля, ферромагнитные частицы образуют цепочки - связи, сцепляющие ведущую и ведомую поверхности. Ведущая поверхность, увлекая ведомую, приводит ее в движение.

## Схема цилиндрической ФПМ с двумя concentрическими поверхностями

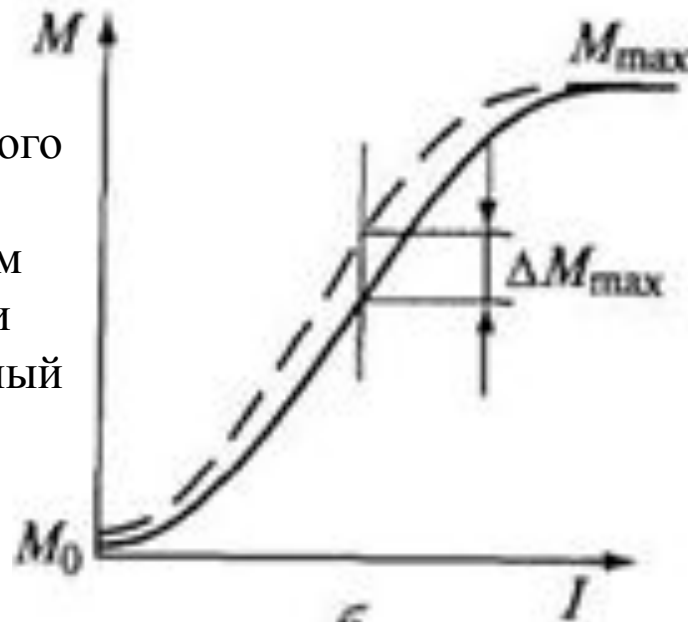


Цилиндрическая ФПМ с двумя concentрическими поверхностями 10 и 9 имеет кольцевое пространство между ними заполненное порошковой смесью 8. На внутренней - ведущей полумуфте расположена обмотка возбуждения 7, выведенная на контактные кольца 2, к которым прижимаются щетки 4. Крышки 5 и 14, изготовленные из немагнитного материала, позволяют направить большую часть магнитного потока через порошковый слой, уменьшив поток рассеяния, и снизить массу ведомой полумуфты.

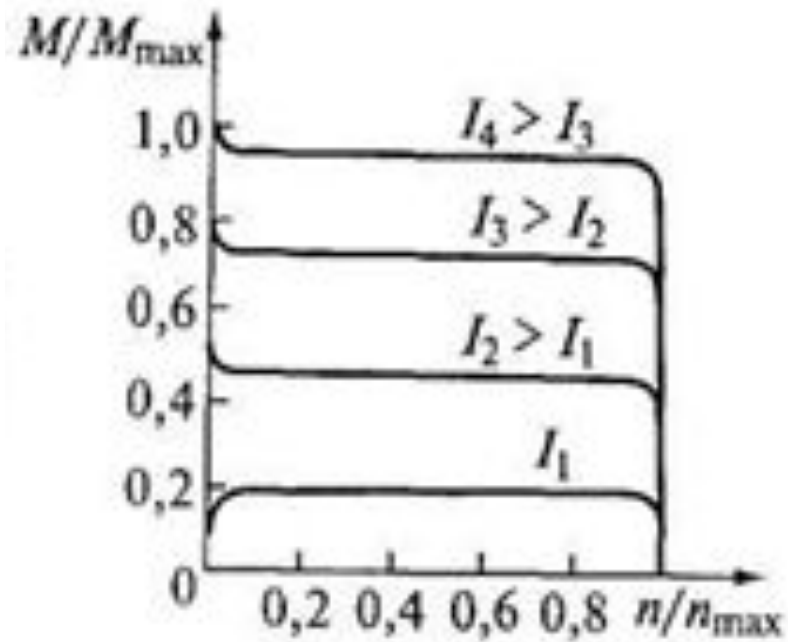
Линейность зависимости  $M(I)$  при малых и больших значениях тока нарушается (рис. 16.3, б) из-за изменения плотности сцепляющего слоя и насыщения магнитопровода. При отсутствии тока в обмотке с ведущего вала 3 на ведомый вал 12 передается небольшой вращающий момент  $M_0$ , обусловленный силами трения в рабочем слое и уплотнениях муфты и остаточным магнитным потоком. Характеристика  $M(I)$  имеет магнитный и механический гистерезис (нисходящая ветвь показана штриховой линией). Отношение  $\Delta M/M_{max}$  колеблется в пределах 7... 15%, а  $M_0/M_{max}$  - в пределах 3... 10 %.

На рис. 16.3, в дан эскиз магнитной системы ФПМ с неподвижной обмоткой. Такие муфты называют еще бесконтактными из-за отсутствия скользящих контактов кольцо-щетка.

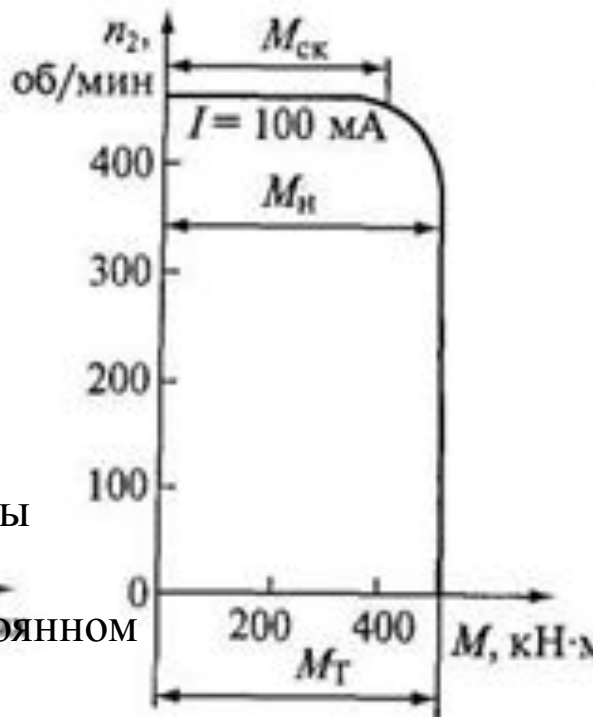
ФПМ обладают важным преимуществом по сравнению ФМ, так как в них осуществляется гибкое сцепление валов: образовавшиеся при данном токе магнитные связи выдерживают определенный предельный момент сопротивления  $M_c$ ; при  $M < M_c$  эти связи разрушаются, муфта начинает проскальзывать, затем связи опять восстанавливаются и рвутся и т.д. Из-за такого импульсного воздействия частоты вращения и ведущего  $n_1$  и ведомого  $n_2$  валов неравны, и последний вращается со скольжением отличным от нуля. Таким образом, при гибком сцеплении валов  $n_2 < n_1$ . Проскальзывание ограничивает передаваемый момент  $M$  вплоть до остановки ведомого вала ( $s = 1$ ) при значительном превышении  $M_c$  над  $M$ .



Одно из важнейших свойств ФПМ - независимость момента  $M$  на ведомом валу (передаваемого момента) от его частоты вращения при неизменном токе возбуждения (управления) обмотки.

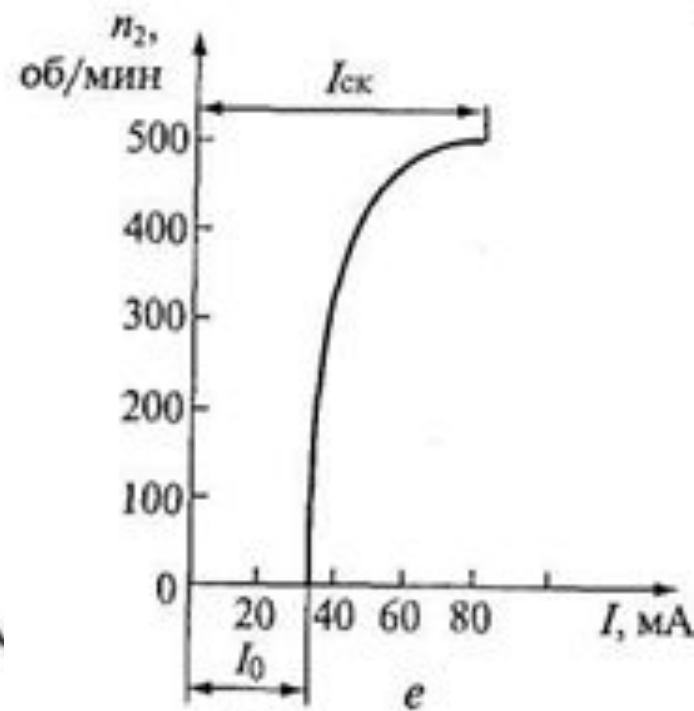


На рис. 16.3, д показана зависимость  $n_2(M)$  для одной из ФПМ при  $I = 100 \text{ мА} = \text{const}$  и  $n_1 = 500 \text{ об/мин} = \text{const}$ . При  $M = M_{ск}$  скольжение начинается, а при  $M = M_T$  оно становится равным единице. Для этой же муфты на рис. 16.3, е приведена зависимость  $n_2(I)$  при постоянном нагрузочном моменте



$M_n = 393 \cdot 10^3 \text{ Нм} = \text{const}$  и  $n_1 = 500 \text{ об/мин} = \text{const}$ .

Из рисунка видно, что при достаточно большом токе валы сцеплены жестко ( $n_2 = n_1, s = 0$ ). Уменьшение тока до значения  $I_{ск}$  вызывает проскальзывание муфты, вследствие чего  $n_2$  становится меньше  $n_1$ . Чем меньше  $I$ , тем больше  $s$ . Когда  $I$  достигает значения  $I_0$ , ведомый вал останавливается ( $n_2 = 0, s = 1$ ).

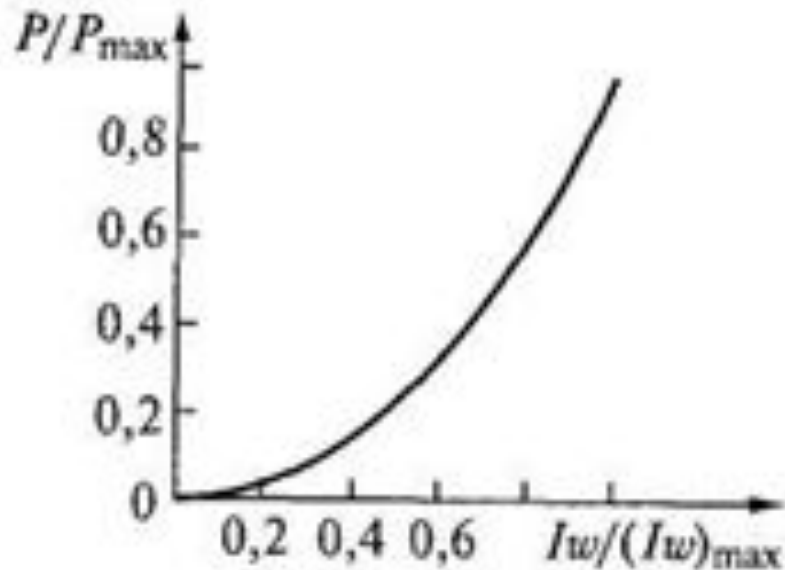


Таким образом, ФПМ позволяет регулировать частоту вращения. Выделяемая при этом теплота рассеивается либо посредством специальной системы охлаждения, либо за счет увеличения размеров муфты и связанного с этим недоиспользования ее по  $M$ . Кроме того, на почти вертикальном участке характеристики  $n_2(I)$  поддерживать требуемую частоту вращения можно только с помощью достаточно сложной системы автоматического регулирования. Следовательно, возможности ФПМ по регулированию частоты вращения в широком диапазоне ограничены.

На рис. 16.3, *ж* представлена зависимость  $P/P_{max} = f[I\omega/(I\omega)_{max}]$  передаваемой мощности от МДС обмотки муфты. Так как наполнитель практически безынерционен, каждому мгновенному значению тока соответствуют определенные поток  $\Phi$  и передаваемый момент  $M$ .

Поскольку наполнитель увеличивает магнитную проницаемость рабочего зазора в 4...8 раз, мощность управления снижается примерно вдвое по сравнению с ФМ. К преимуществу ФПМ относится также их быстродействие (в 10... 15 раз больше, чем у ФМ), обусловленное неподвижностью обеих полумуфт в осевом направлении и практической безынерционностью наполнителя. Основной недостаток ФПМ - большие размеры и масса по сравнению с ФМ.

Часто ФПМ применяют в качестве сцепных, предохранительных, динамометрических и тормозных, а благодаря линейной зависимости  $M(I)$  - ив качестве усилителей мощности для сервоприводов и следящих систем.

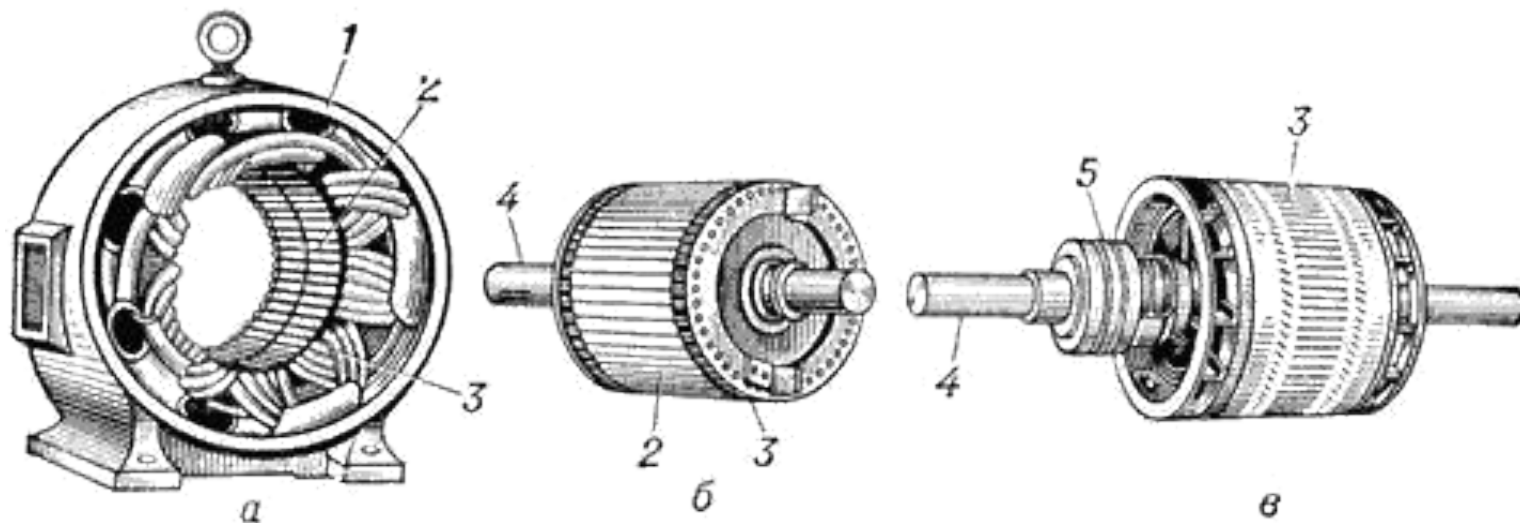


## Асинхронный электродвигатель

- электрическая асинхронная машина для преобразования электрической энергии в механическую. Принцип работы А. э. основан на взаимодействии вращающегося магнитного поля, возникающего при прохождении трёхфазного переменного тока по обмоткам статора, с током, индуктированным полем статора в обмотках ротора, в результате чего возникают механические усилия, заставляющие ротор вращаться в сторону вращения магнитного поля при условии, что частота вращения ротора  $n$  меньше частоты вращения поля  $n_1$ . Т. о., ротор совершает асинхронное вращение по отношению к полю.



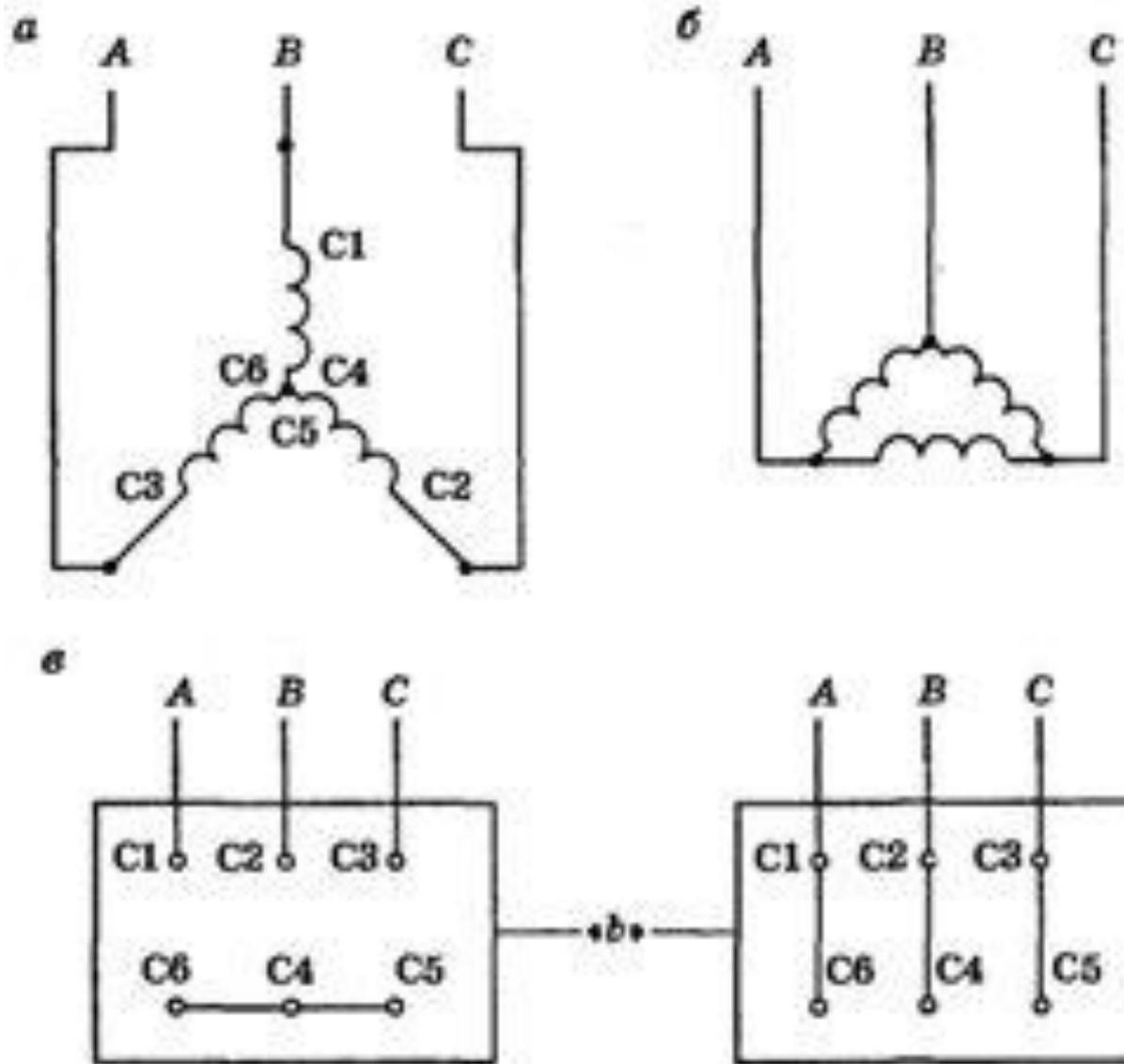
Трёхфазные А. э. сравнительно с однофазными обладают лучшими пусковыми и рабочими характеристиками. Основные конструктивные элементы А. э.: статор — неподвижная часть (рис.1 а) и ротор — вращающаяся часть (рис.1 б, в). В соответствии со способом выполнения роторной обмотки А. э. делятся на двигатели с контактными кольцами и короткозамкнутые. Воздушный зазор между статором и ротором у А. э. делается по возможности малым (до 0,25 мм). Частота вращения ротора А. э. зависит от частоты вращения магнитного поля статора и определяется частотой питающего тока и числом пар полюсов двигателя.



**Учебный фильм**



# Подключение



## Конденсаторный асинхронный двигатель

- асинхронный электродвигатель, питаемый от однофазной сети и имеющий на статоре две обмотки, одна из которых включается в сеть непосредственно, а другая — последовательно с электрическим конденсатором для образования вращающегося магнитного поля.

Конденсаторы создают сдвиг фаз между токами обмоток, оси которых сдвинуты в пространстве. Наибольший вращающий момент развивается, когда сдвиг фаз токов составляет  $90^\circ$ , а их амплитуды подобраны так, что вращающееся поле становится круговым. При пуске К. а. д. оба конденсатора включены, а после его разгона один из конденсаторов отключают; это обусловлено тем, что при номинальной частоте вращения требуется значительно меньшая емкость, чем при пуске. К. а. д. по пусковым и рабочим характеристикам близок к трёхфазному асинхронному двигателю. Применяется в электроприводах малой мощности; при мощностях свыше 1 кВт используется редко вследствие значительной стоимости и размеров конденсаторов.

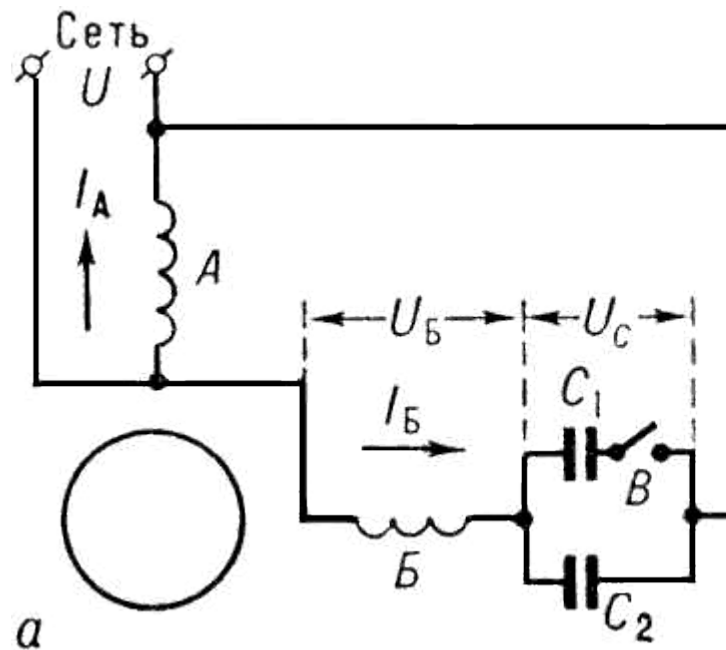


Схема конденсаторного асинхронного двигателя:  $U$ ,  $U_B$ ,  $U_C$  — напряжения;  $I_A$ ,  $I_B$  — токи; А и Б — обмотки статора; В — центробежный выключатель для отключения  $C_1$  после разгона двигателя;  $C_1$  и  $C_2$  — конденсаторы.

## Трёхфазный асинхронный электродвигатель, включаемый через конденсатор в однофазную сеть.

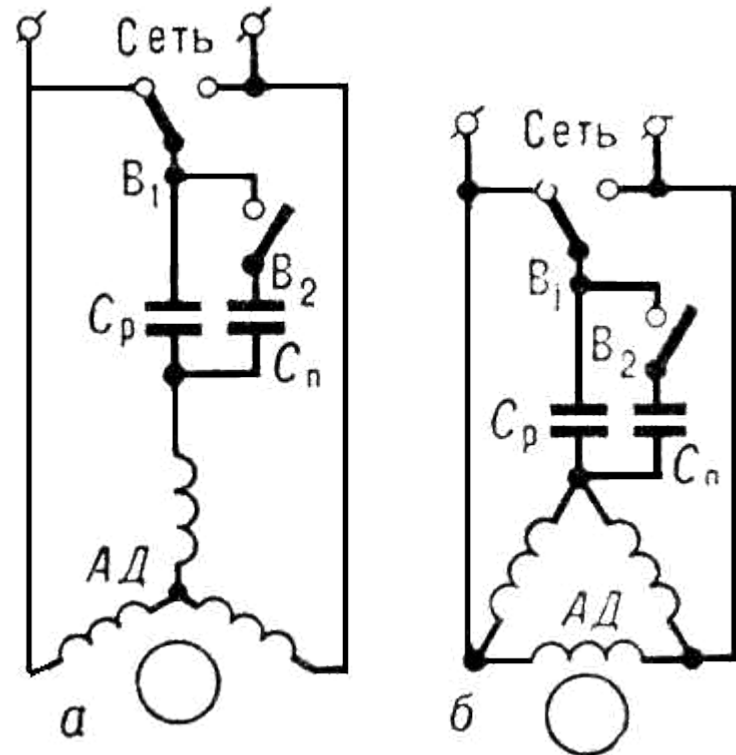
Рабочая ёмкость конденсатора для 3-фазного двигателя определяется по формуле

$$C_p = 2800 \frac{1}{U} (\text{мкф}), \text{ если обмотки соединены по схеме «звезда»},$$

$$\text{или } C_p = 4800 \frac{1}{U} (\text{мкф}), \text{ если обмотки соединены по схеме «треугольник»}.$$

Ёмкость пускового конденсатора  $C_n = (2,5 \text{ — } 3) \times C_p$ . Рабочее напряжение конденсаторов должно быть в 1,5 раза выше напряжения сети; конденсаторы устанавливаются обязательно бумажные.

Схема включения в однофазную сеть трёхфазного асинхронного двигателя с обмотками статора, соединёнными по схеме «звезда» (а) или «треугольник» (б):  $B_1$  — Переключатель направления вращения (реверс),  $B_2$  — Выключатель пусковой ёмкости;  $C_p$  — рабочий конденсатор;  $C_n$  — пусковой конденсатор; АД — асинхронный электродвигатель.



# Выбор электродвигателя за 5 шагов

## Шаг 1-й: Узнать характеристики нагрузки.

Применительно к однофазным электродвигателям, нагрузки разделяются на 3 категории:

стабильный момент силы,

1. внезапно изменяющийся
2. момент силы
3. момент силы, который изменяется постепенно, через определённые промежутки времени.

Примеры: фасовочные конвейеры, экструдеры, насосы объёмного класса и компрессоры без системы сброса давления при относительно стабильных уровнях крутящего момента.

Выбор мотора для применения под определёнными нагрузками осуществляется очень легко, необходимо просто знать момент силы и мощность мотора. Нагрузки в таких устройствах как элеваторы, компостеры, штамповочные прессы, пилорамы, конвейеры изменяются внезапно, за очень короткое время, зачастую за долю секунды. Самым важным критерием, при выборе мотора для таких целей, становится то, чтобы кривая графика соотношения скорости вращения и момента силы мотора, была выше кривой графика скорости вращения и момента силы нагрузки.

Нагрузки от центрифужных насосов, вентиляторов, воздуходувок, компрессоров с разгрузочными клапанами и другого подобного оборудования время от времени изменяется. Поэтому при выборе мотора для таких целей, необходимо учитывать наибольшую продолжительность работы мотора на максимальных нагрузках, которые обычно возникают при полных оборотах мотора.



## **Шаг 2-й. Мощность.**

Главное правило выбора мотора по мощности: нужно выбирать электродвигатель именно той мощности, какой нужно и стараться избегать её превышения или занижения. Расчёт мощности в лошадиных силах, делается по следующей формуле: Мощность (ватт) = крутящий момент x угловая скорость, где момент силы измеряется в ньютон-метрах, а скорость – в радианах в секунду.

### Шаг 3-й. Запуск.

Также необходимо учитывать силу инерции, особенно во время процедуры пуска. Каждая нагрузка обладает определённой силой инерции, но штамповочные прессы, шаровые мельницы, редукторы, отвечающие за движение крупных валов и некоторые типы насосов, требуют большего стартового момента силы, так как ведомые вращающиеся элементы имеют большую массу.

Моторы, применяемые в таких целях, могут нагреваться в процессе пуска, поэтому важно убедиться, что температура в таких случаях, не превышает установленной нормы. Правильно подобранный электродвигатель должен быть способен сдвинуть ведомый элемент с мёртвой точки (то есть стартовый момент силы должен быть достаточным, для того, чтобы раскрутить остановленный ротор), довести до рабочей скорости вращения и поддерживать её. Моторы разделяются на 4 типа по их способности выдерживать повышение температуры в момент старта и, затем, понижать её.

NEMA (национальная ассоциация производителей электрооборудования) подразделяет моторы на типы А, В, С и D, по возрастанию их стартового момента силы. Тип В отвечает промышленному стандарту и считается лучшим выбором для большинства видов коммерческого и промышленного применения.

## Шаг 4: Регулировка в течение цикла работы.

Циклом работы называется совокупность пошаговых операций, выполняемых мотором, в которые входят старт, работа в обычном режиме и остановка.

Продолжительная работа – один из самых простых и наиболее эффективных режимов. Цикл работы начинается со старта, после которого следует продолжительный период стабильной работы, во время которого внутри мотора поддерживается стабильная температура. В таком режиме электродвигатель может использоваться с нагрузками, максимально приближённым к его спецификациям, так как температура может быть уравновешена в течение рабочего цикла.

Прерывистая работа вызывает больше осложнений. Срок службы коммерческих аэропланов измеряется количеством полётов, то же самое можно сказать и про моторы - срок их службы прямо пропорционален количеству запусков. Частые старты укорачивают срок службы мотора, потому что высокий стартовый ток, моментально нагревает проводники. Из-за такого перегрева, для каждого мотора устанавливается определённое количество пусков и остановок, которые могут быть совершены в течение часа.



## **Шаг 5-й: Последний критерий выбора мотора, гипоксия.**

Если вы собираетесь установить электродвигатель в месте, которое находится на большой высоте над уровнем моря, он не сможет работать на полную мощность, так как на высоте воздух менее плотный и из-за этого воздушное охлаждение осуществляется с меньшей интенсивностью. Поэтому, чтобы температура мотора оставалась безопасной, для его нормальной работы, необходимо заново рассчитать его параметры, для этого существуют специальные критерии, например, на высоте 1100 м, эксплуатационный коэффициент мотора = 1.15. а на высоте 3000 м падает до 1.00.

Это очень важный критерий выбора моторов для горных элеваторов, конвейеров, воздуходувок и другого оборудование, которое эксплуатируется на больших высотах.

## **Купить новый электродвигатель или заменить обмотку старого?**

В случае какой-либо поломки мотора, вам придётся решать, купить ли новый электродвигатель или отремонтировать старый. Основная проблема поломок моторов – проблемы с обмоткой, и очень часто принимается решение перемотать его, то есть заменить обмотку. Такое решение весьма экономично, практика перемотки моторов очень распространена, в частности для моторов мощностью свыше десяти л.с.

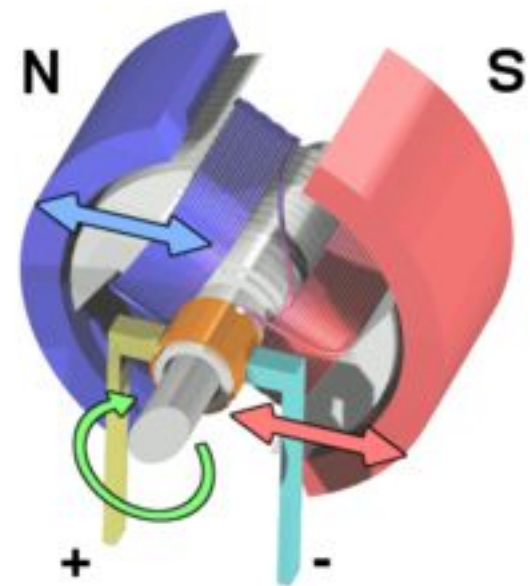
Однако перемотка мотора зачастую приводит к снижению КПД. Обычно получается более практично в финансовом плане, заменить электродвигатель, если его мощность не превышает десяти л.с., вместо того, чтобы менять обмотку. Когда вы решаете, что же лучше, купить новый электродвигатель или перемотать старый, необходимо обращать внимание на разницу в цене между перемоткой и покупкой нового мотора, с высоким КПД, а также на потенциальное увеличение стоимости потребляемой перемотанным мотором электроэнергии, так как его КПД будет ниже, чем раньше. Качество перемотки имеет большое влияние на стоимость эксплуатации.

Электродвигатель, который будет перемотан некачественно, может потерять до 3-х% КПД. Мотор, мощностью 100 л.с. может потреблять электроэнергии на несколько сотен долларов в год больше, в виду снижения КПД, по сравнению с первоначальным значением. Стоимость эксплуатации может быть значительно большей, по сравнению с новым мотором.

## Электродвигатель постоянного тока

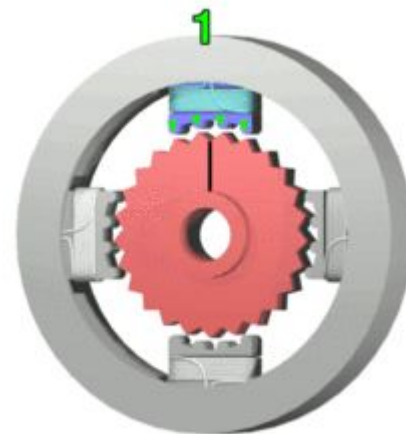
**Двигатель постоянного тока** — электрическая машина, машина постоянного тока, преобразующая электрическую энергию постоянного тока в механическую энергию.

Разберем устройство и принцип работы ДПТ на примере автомобильного [стартера](#)



**Шаговый электродвигатель** — это синхронный бесщёточный электродвигатель с несколькими обмотками, в котором ток, подаваемый в одну из обмоток статора, вызывает фиксацию ротора. Последовательная активация обмоток двигателя вызывает дискретные угловые перемещения (шаги) ротора.

Учебный фильм



# Трехфазный генератор

Устройство

Работа