

ПРОЕКТ ПО ТЕХНОЛОГИИ
на тему: Двигатели
постоянного тока

Двигатель постоянного тока: принцип действия.

Первой из всех изобретенных в 19 веке вращающихся электромашин является двигатель постоянного тока. Принцип действия его известен с середины прошлого столетия, и до настоящего времени двигатели постоянного тока (ДПТ) продолжают верно служить человеку, приводя в движение множество полезных машин и механизмов. Первые ДПТ Начиная с 30-х годов 19 века в своем развитии они прошли несколько этапов. Дело в том, что до появления в конце позапрошлого века машинных генераторов переменного тока единственным источником электроэнергии был гальванический элемент. Поэтому все первые электродвигатели могли работать только на постоянном токе. Каким же был первый двигатель постоянного тока? Принцип действия и устройство двигателей, строившихся в первой половине 19 века, являлся следующим. Явнополюсный индуктор представлял собой набор неподвижных постоянных магнитов или стержневых электромагнитов, не имевших общего замкнутого магнитопровода. Явнополюсный якорь образовывали несколько отдельных стержневых электромагнитов на общей оси, приводимых во вращение силами отталкивания и притяжения к полюсам индуктора. Типичными их представителями являлись двигатели У. Риччи (1833) и Б. Якоби (1834), оснащенные механическими коммутаторами тока в электромагнитах якоря с подвижными контактами в цепи обмотки якоря.

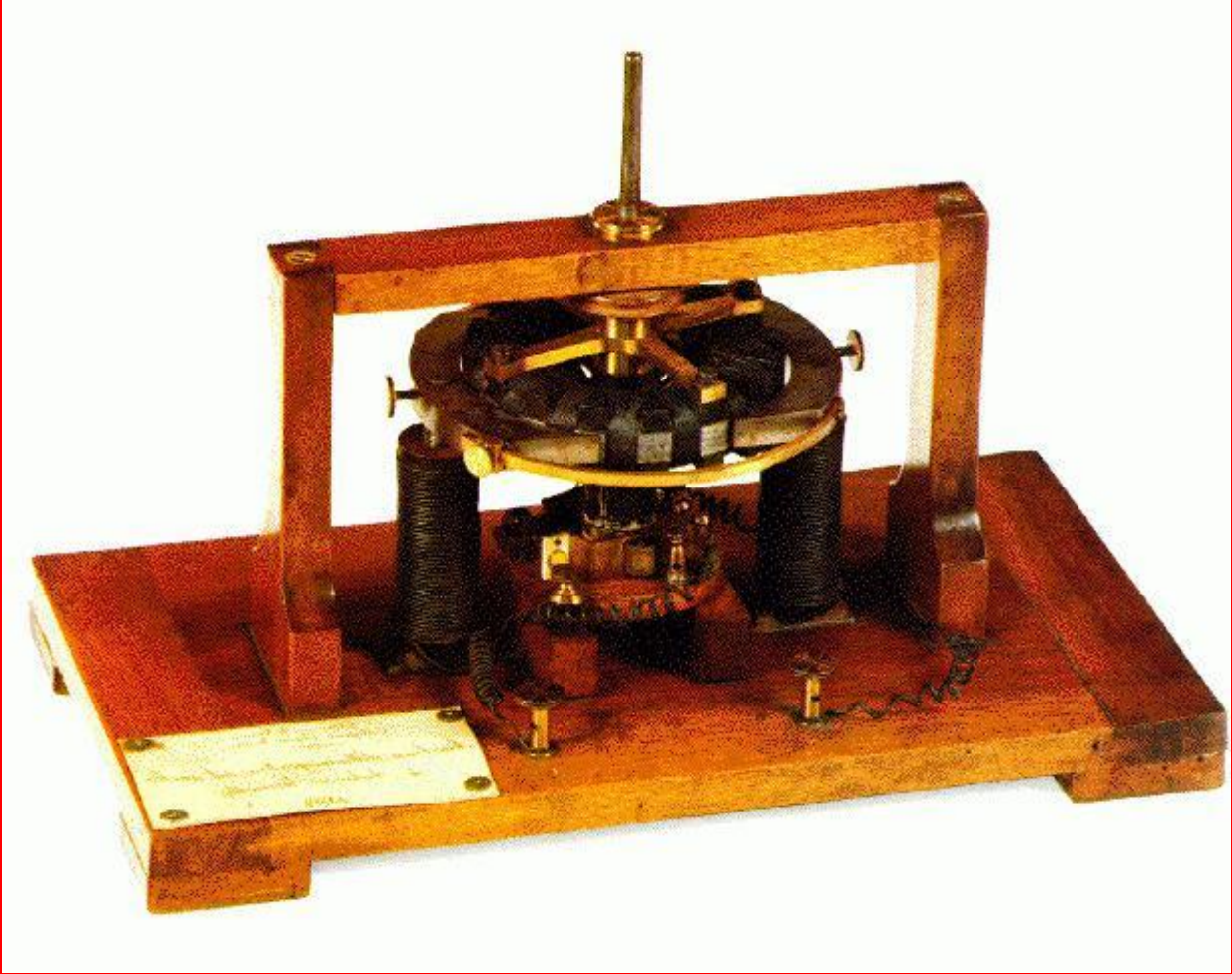


Как работал двигатель Якоби

Каков же был у этой машины принцип действия? Двигатель постоянного тока Якоби и его аналоги обладали пульсирующим электромагнитным моментом. В течение времени сближения разноименных полюсов якоря и индуктора под действием магнитной силы притяжения момент двигателя быстро достигал максимума. Затем, при расположении полюсов якоря напротив полюсов индуктора, механический коммутатор прерывал ток в электромагнитах якоря. Момент падал до нуля. За счет инерции якоря и приводимого в движение механизма полюсы якоря выходили из-под полюсов индуктора, в этот момент в них от коммутатора подавался ток противоположного направления, их полярность также менялась на противоположную, а сила притяжения к ближайшему полюсу индуктора сменялась на силу отталкивания. Таким образом, двигатель Якоби вращался последовательными толчками.

Появляется кольцевой якорь

В стержневых электромагнитах якоря двигателя Якоби ток периодически выключался, создаваемое ими магнитное поле исчезало, а его энергия преобразовывалась в тепловые потери в обмотках. Таким образом, электромеханическое преобразование электроэнергии источника тока якоря (гальванического элемента) в механическую происходило в нем с перерывами. Нужен был двигатель с непрерывной замкнутой обмоткой, ток в которой протекал бы постоянно в течение всего времени его работы. И такой fuhtufn был создан в 1860 году А. Пачинотти. Чем же отличался от предшественников его двигатель постоянного тока? Принцип действия и устройство двигателя Пачинотти следующие. В качестве якоря он использовал стальное кольцо со спицами, закрепленное на вертикальном валу. При этом якорь не имел явно выраженных полюсов. Он стал неявнополюсным. Между спицами кольца были намотаны катушки обмотки якоря, концы которых соединялись последовательно на самом якорю, а от точек соединения каждых двух катушек были сделаны отпайки, присоединенные к пластинам коллектора, расположенным вдоль окружности внизу вала двигателя, число которых равнялось числу катушек. Вся обмотка якоря была замкнута сама на себя, а последовательные точки соединения ее катушек присоединялись к соседним пластинам коллектора, по которым скользила пара токоподводящих роликов. Кольцевой якорь был помещен между полюсами двух неподвижных электромагнитов индуктора-статора, так что силовые линии создаваемого ими магнитного поля возбуждения входили в наружную цилиндрическую поверхность якоря двигателя под северным полюсом возбуждения, проходили по кольцевому якорю, не перемещаясь во внутреннее его отверстие, и выходили наружу под южным полюсом.



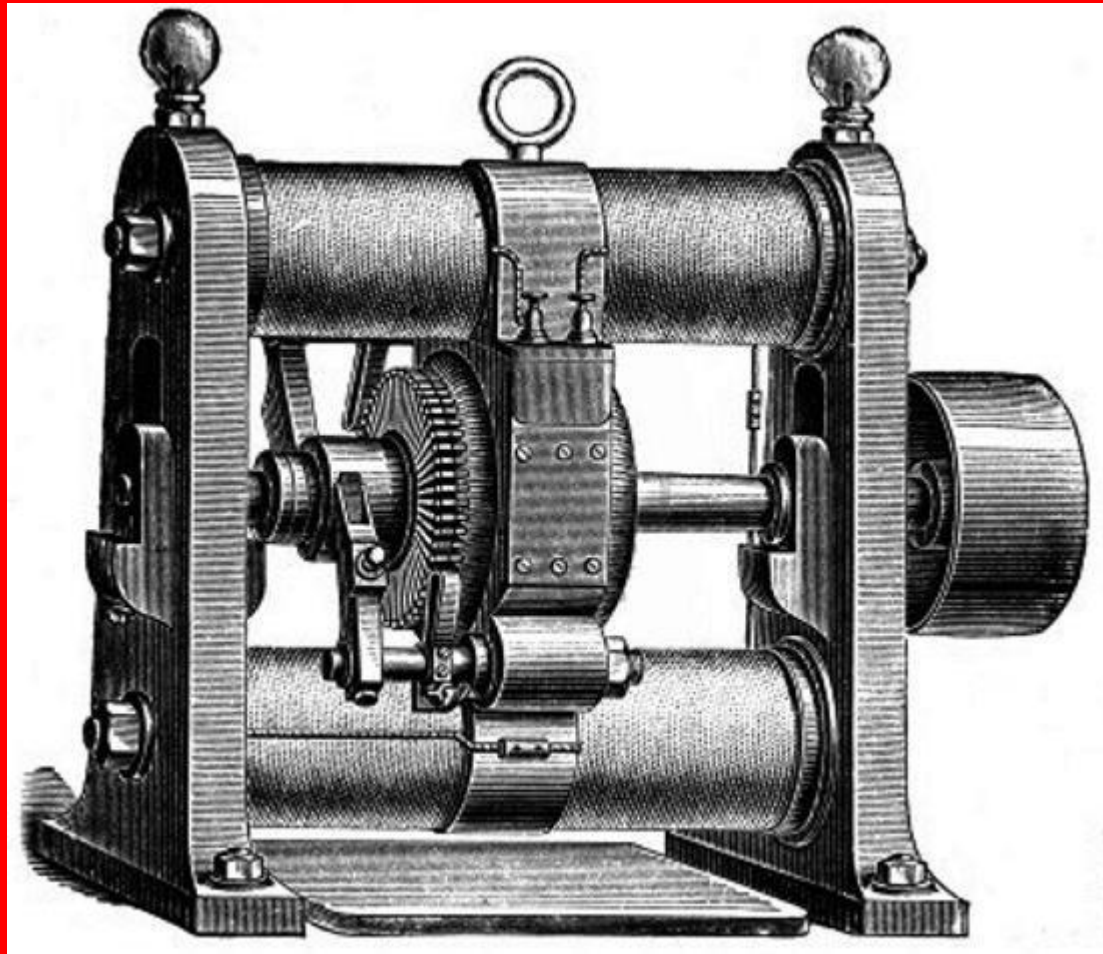
Как работал двигатель

Пачинотти

Какой же у него был принцип действия? Двигатель постоянного тока Пачинотти работал точно так же, как и современные ДПТ. В магнитном поле полюса индуктора с данной полярностью всегда находилось определенное число проводников обмотки якоря с током неизменного направления, причем направление тока якоря под разными полюсами индуктора было противоположным. Это достигалось размещением токоподводящих роликов, играющих роль щеток, в пространстве между полюсами индуктора. Поэтому мгновенный ток якоря втекал в обмотку через ролик, пластину коллектора и присоединенную к ней отпайку, которая также находилась в пространстве между полюсами, далее протекал в противоположных направлениях по двум полуобмоткам-ветвям, и наконец вытекал через отпайку, пластину коллектора и ролик в другом межполюсном промежутке. При этом сами катушки якоря под полюсами индуктора менялись, но направление тока в них оставалось неизменным. По закону Ампера, на каждый проводник катушки якоря с током, находящийся в магнитном поле полюса индуктора, действовала сила, направление которой определяется по известному правилу «левой руки». Относительно оси двигателя эта сила создавала вращающий момент, а сумма моментов от всех таких сил дает суммарный момент ДПТ, который уже при нескольких пластинах коллектора является почти постоянным.

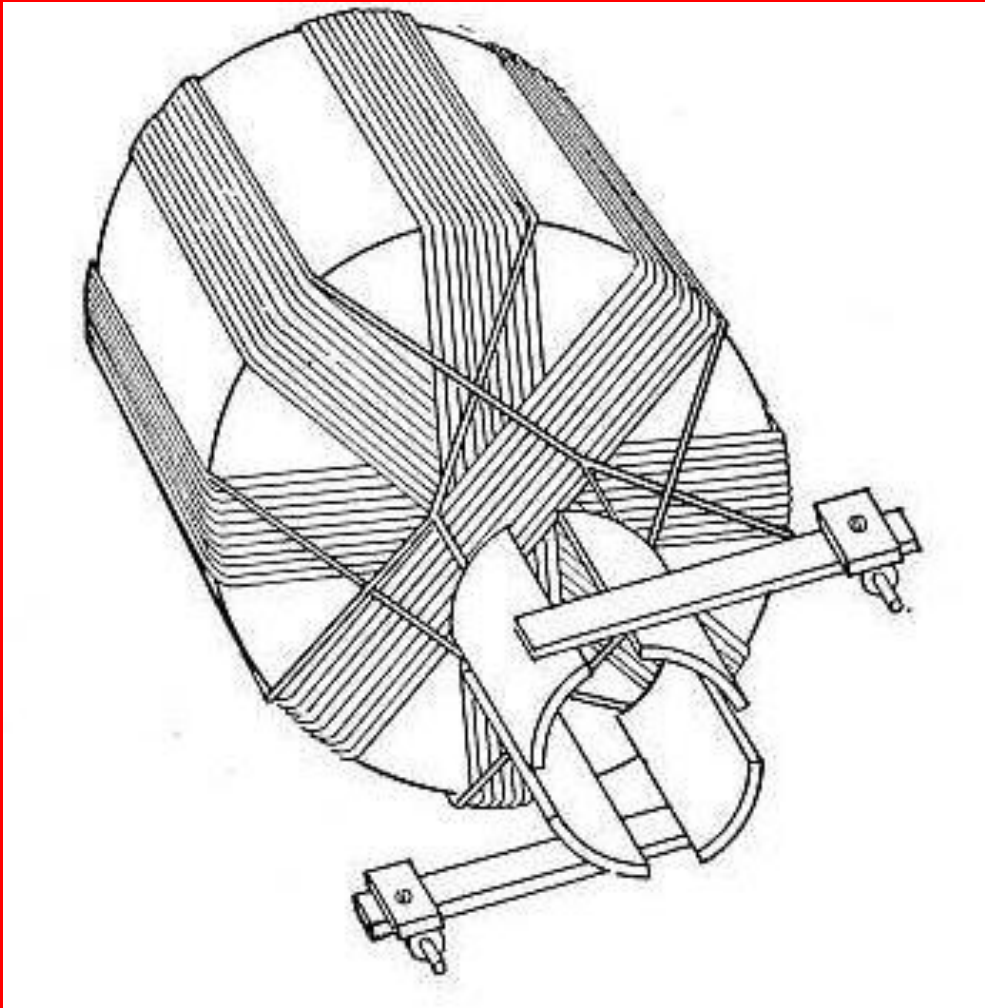
ДПТ с кольцевым якорем и граммовской обмоткой

Как это часто случалось в истории науки и техники, изобретение А. Пачинотти не нашло применения. Оно было на 10 лет забыто, пока в 1870 году его независимо не повторил франко-немецкий изобретатель З. Грамм в аналогичной конструкции генератора постоянного тока. В этих машинах ось вращения уже была горизонтальной, использовались угольные щетки, скользящие по пластинам коллектора почти современной конструкции. К 70-м годам 19 века принцип обратимости электромашин стал уже хорошо известен, а машина Грамма использовалась как генератор и двигатель постоянного тока. Принцип действия его уже описан выше. Несмотря на то, что изобретение кольцевого якоря было важным шагом в развитии ДПТ, его обмотка (названная граммовской) имела существенный недостаток. В магнитном поле полюсов индуктора находились только те ее проводники (называемые активными), которые лежали под этими полюсами на наружной цилиндрической поверхности якоря. Именно к ним были приложены магнитные силы Ампера, создающие вращающий момент относительно оси двигателя. Те же неактивные проводники, что проходили через отверстие кольцевого якоря, не участвовали в создании момента. Они только бесполезно рассеивали электроэнергию в виде тепловых потерь.



От кольцевого якоря к барабанному

Устранить этот недостаток кольцевого якоря удалось в 1873 году известному немецкому электротехнику Ф. Гефнер-Альтенеку. Как же функционировал его двигатель постоянного тока? Принцип действия, устройство его индуктора-статора такие же, как у двигателя с кольцевой обмоткой. А вот конструкция якоря и его обмотка изменились. Гефнер-Альтенек обратил внимание, что направление тока якоря, вытекающего из неподвижных щеток, в проводниках граммовской обмотки под соседними полюсами возбуждения всегда противоположно, т.е. их можно включить в состав витков расположенной на наружной цилиндрической поверхности катушки с шириной (шагом), равным полюсному делению (части окружности якоря, приходящейся на один полюс возбуждения). В этом случае становится ненужным отверстие в кольцевом якоря, и он превращается в сплошной цилиндр (барабан). Такая обмотка и сам якорь получили наименование барабанных. Расход меди в ней при одинаковом числе активных проводников гораздо меньше, чем в граммовской обмотке.

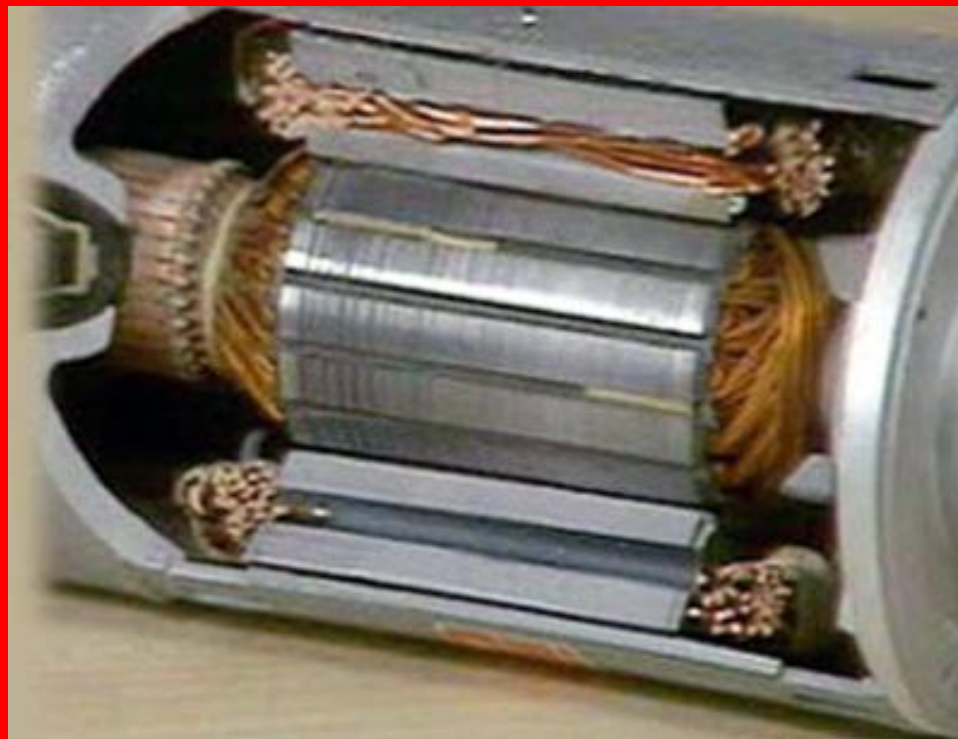


Якорь становится зубчатым

В машинах Грамма и Гефнер-Альтенека поверхность якоря была гладкой, а проводники его обмотки располагались в зазоре между ним и полюсами индуктора. При этом расстояние между вогнутой цилиндрической поверхностью полюса возбуждения и выпуклой поверхностью якоря достигало нескольких миллиметров. Поэтому для создания нужной величины магнитного поля требовалось применять катушки возбуждения с большой магнитодвижущей силой (с большим числом витков). Это существенно увеличивало габариты и вес двигателей. Кроме того, на гладкой поверхности якоря его катушки было трудно крепить. Но как же быть? Ведь для действия на проводник с током силы Ампера он должен находиться в точках пространства с большой величиной магнитного поля (с большой магнитной индукцией). Оказалось, что это не является необходимым. Американский изобретатель пулемета Х. Максим показал, что если выполнить барабанный якорь зубчатым, а в образовавшиеся между зубцами пазы поместить катушки барабанной обмотки, то зазор между ним и полюсами возбуждения можно уменьшить до долей миллиметра. Это позволило существенно уменьшить размеры катушек возбуждения, но вращающий момент ДПТ несколько не уменьшился. Как же функционирует такой двигатель постоянного тока? Принцип действия основан на том обстоятельстве, что при зубчатом якоре магнитная сила приложена не к проводникам в его пазах (магнитное поле в них практически отсутствует), а к самим зубцам. При этом наличие тока в проводнике в пазу имеет решающее значение для возникновения этой силы.

Как избавились от вихревых токов

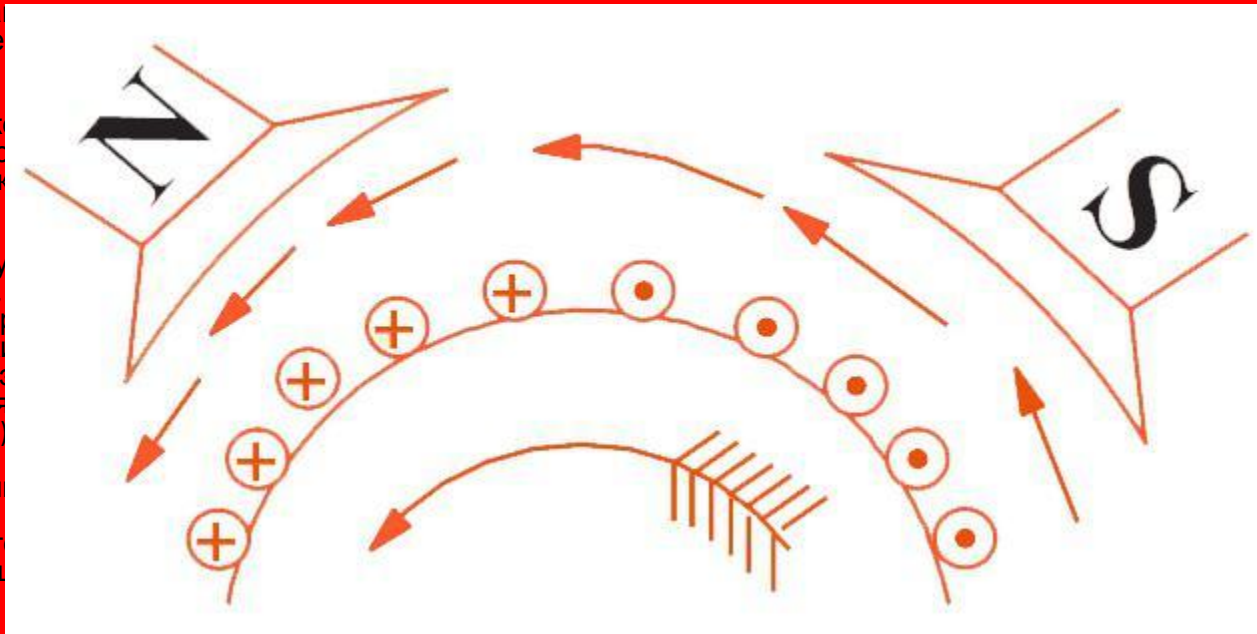
Еще одно важнейшее усовершенствование внес знаменитый изобретатель Т. Эдиссон. Что же добавил он в двигатель постоянного тока? Принцип действия остался неизменным, а вот материал, из которого сделан его якорь, изменился. Вместо прежнего массивного он стал шихтованным из тонких электрически изолированных друг от друга стальных листов. Это позволило уменьшить величину вихревых токов (токов Фуко) в якоре, что увеличило КПД двигателя.



Принцип действия двигателя постоянного тока

Кратко его можно сформулировать так: при подключении обмотки якоря возбужденного двигателя к источнику питания в ней возникает большой ток, называемый пусковым и превышающий в несколько раз его номинальное значение. Причем полярности полюсов возбуждения противоположны полярности направления токов в проводниках обмотки якоря так же противоположно, как показано на рисунке ниже. Согласно правилу "левой руки", эти проводники действуют силы Ампера, направленные против часовой стрелки, увлекающие якорь во вращение. При этом в проводниках обмотки якоря наводится электродвижущая сила (противо-ЭДС), направленная встречно напряжению источника питания. По мере разгона якоря противо-ЭДС в его обмотке растет и ток якоря уменьшается до величины, соответствующей рабочей точке на характеристике двигателя.

Чтобы повысить скорость вращения якоря, нужно либо увеличить ток в его обмотке, либо снизить противо-ЭДС в ней. Последнего можно добиться, уменьшив величину магнитного поля возбуждения путем снижения тока в обмотке возбуждения. Данный способ управления скоростью ДПТ получил широкое распространение.



Принцип действия двигателя постоянного тока с независимым возбуждением

С присоединением выводов обмотки возбуждения (ОВ) к отдельному источнику электропитания (независимая ОВ) обычно выполняются мощные ДПТ, чтобы было более удобно регулировать величину тока возбуждения (с целью изменения скорости вращения). По своим свойствам ДПТ с независимой ОВ практически аналогичны ДПТ с ОВ, параллельно подключаемой к обмотке якоря.

Параллельное возбуждение ДПТ Принцип действия двигателя постоянного тока параллельного возбуждения определяется его механической характеристикой, т.е. зависимостью скорости вращения от нагрузочного момента на его валу. Для такого двигателя изменение скорости при переходе от холостого вращения к номинальному моменту нагрузки составляет от 2 до 10%. Такие механические характеристики называются жесткими. Таким образом, принцип действия двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением обуславливает его применение в приводах с постоянной скоростью вращения при большом диапазоне изменения нагрузки. Однако он широко используется и в регулируемом электроприводе с переменной скоростью вращения. При этом для регулирования его скорости может применяться изменение как тока якоря, так и тока возбуждения.



Последовательное возбуждение ДПТ

Принцип действия двигателя постоянного тока последовательного возбуждения, как и параллельного, определяется его механической характеристикой, которая в этом случае является мягкой, т.к. частота вращения двигателя значительно варьируется при изменениях нагрузки. Где же выгоднее всего применять такой двигатель постоянного тока? Принцип действия жд тягового двигателя, скорость которого должна уменьшаться при преодолении составом подъемов и возвращаться к номинальной при движении по равнине, полностью соответствует характеристикам ДПТ с ОВ, последовательно соединенной с обмоткой якоря. Поэтому значительная часть электровозов во всем мире оснащена такими устройствами. Принцип действия двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением реализуют также тяговые двигатели пульсирующего тока, которые представляют собой, по сути, те же ДПТ с последовательной ОВ, но специально сконструированные для работы с выпрямленным уже на борту электровоза током, имеющим значительные пульсации.