

Электрические машины постоянного тока

Классификация электрических машин постоянного тока:

по назначению электрические машины постоянного тока разделяются на генераторы и двигатели.

Генератор постоянного тока — это электрическая машина, преобразующая механическую энергию в электрическую энергию постоянного тока.

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

Устройство и принцип действия машин постоянного тока. Обратимость машин постоянного тока

Генераторы и двигатели постоянного тока устроены одинаково и содержат неподвижную и подвижную части, называемые соответственно статором и ротором. В статоре создается магнитное поле возбуждения, поэтому его называют индуктором. Часть ротора, в которой индуцируется ЭДС, называется якорем.

Статор состоит из станины 7 (рис. 1), магнитных полюсов 2, подшипниковых щитов 3 и подшипников 4. Станина является несущей частью машины. Магнитный полюс состоит из сердечника, полюсного наконечника и обмотки возбуждения 9. Кроме магнитных полюсов 2 имеются дополнительные полюса, состоящие из цельного сердечника 11 с выполненной на нем обмоткой. Внутри статора находится ротор, состоящий из сердечника якоря 8, коллектора 7, вала ротора 5 и вентилятора 6. Опорой ротора служат подшипники 4, укрепленные в боковых щитах 3.

При протекании постоянного тока по обмотке возбуждения создается основной магнитный поток Φ , который замыкается по магнитной цепи, образованной сердечниками полюсов N и S, сердечником якоря, станиной и двумя воздушными зазорами б. Так как станина является частью магнитопровода, ее выполняют из ферромагнитного материала, обычно из литой стали.

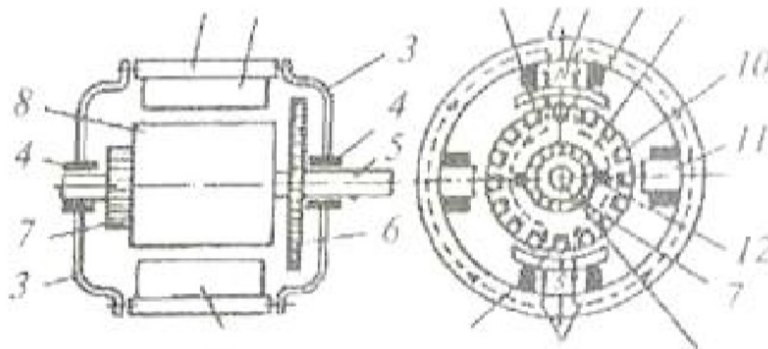


Рисунок 1 - Устройство машины постоянного тока

Коллектор 7 выполняется из медных пластин, к которым присоединяются начала и концы секций 10. Число пластин равно количеству секций обмотки. Коллекторные пластины изолированы друг от друга и от других деталей электроизоляционными mica (сланцевыми) прокладками. К рабочей поверхности коллектора прилегают угольно-графитовые или металлоугольные щетки 12, закрепленные в специальных щеткодержателях.

Принцип работы электрических машин постоянного тока рассмотрим на примере простейшей модели генератора постоянного тока. В постоянном магнитном поле размещена рамка с возможностью свободного вращения между полюсами N и S (рис.2,а). Концы рамки присоединены к двум полукольцам, вращающимся вместе с рамкой, в которой возникает переменная ЭДС.

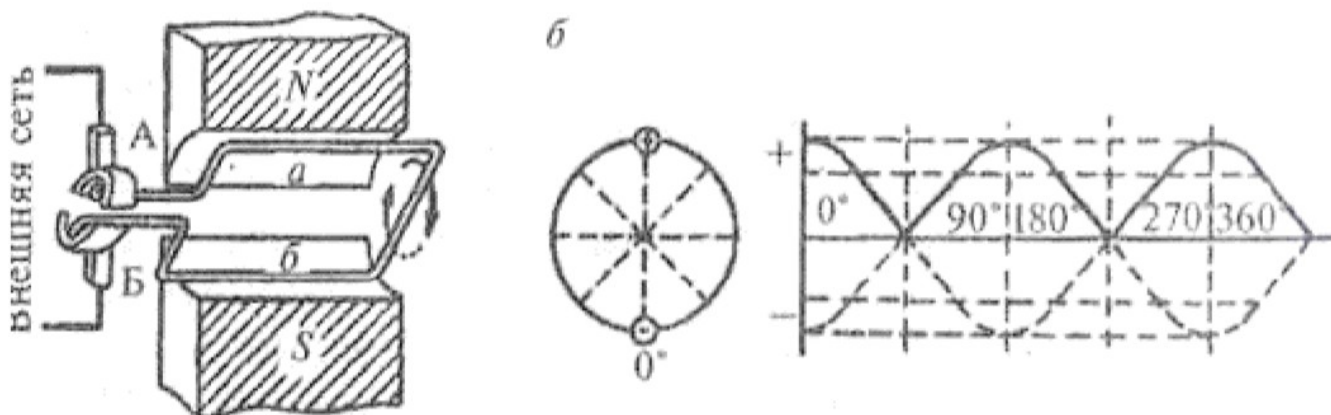


Рисунок 2 - Получение переменной ЭДС

Предположим, что рамка вращается по часовой стрелке. Тогда ток в проводнике, находящемся под северным полюсом, направлен от нас за плоскость чертежа, а в проводнике, находящемся под южным полюсом, — к нам. Пока проводник а расположен под северным полюсом, соединенное с проводником полукольцо имеет контакт с неподвижной щеткой А. Соответственно проводник б имеет контакт через свое полукольцо со щеткой Б. По щетке А течет ток положительного направления, а по щетке Б — отрицательного. Когда проводники находятся на нейтральной линии, т. е. ЭДС в них равна нулю, щетки замыкают оба полукольца накоротко. Пройдя нейтральную линию, проводник а попадает в зону южного полюса, направление тока в нем изменяется на обратное («к нам»), но в это время данный проводник входит в контакт со щеткой Б. Следовательно, несмотря на то, что направление тока в проводнике изменилось, направление тока в щетке Б не меняется и по-прежнему остается отрицательным. Аналогичный процесс происходит и с проводником б после перехода в зону действия северного полюса. Таким образом, по внешней цепи направление тока сохраняется постоянным, т. е. коллектор обеспечивает постоянство направления электрического тока независимо от положения рамки между полюсами магнита. График тока, полученного описанным генератором, представлен на рисунке 2, б. На графике ток протекает через нагрузку в одном направлении, а его величина изменяется от нуля до определенного максимального значения. В тот момент, когда рамка занимает вертикальное положение, ток достигает максимального значения. По мере вращения рамки значение тока уменьшается и становится равным нулю при горизонтальном положении рамки, магнитного потока. После прохождения этого нейтрального положения значение тока в рамке вновь возрастает и цикл повторяется, т. е. по своему значению электрический ток в рамке является пульсирующим.

**Классификация машин постоянного тока по способу возбуждения.
Генератор постоянного тока с параллельным возбуждением**

Возбуждение — это процесс создания в электрической машине постоянного магнитного поля, необходимого для получения ЭДС (в генераторах) или вращения ротора (в двигателях).

Классификация машин постоянного тока по способу возбуждения приведена на рисунке 3.

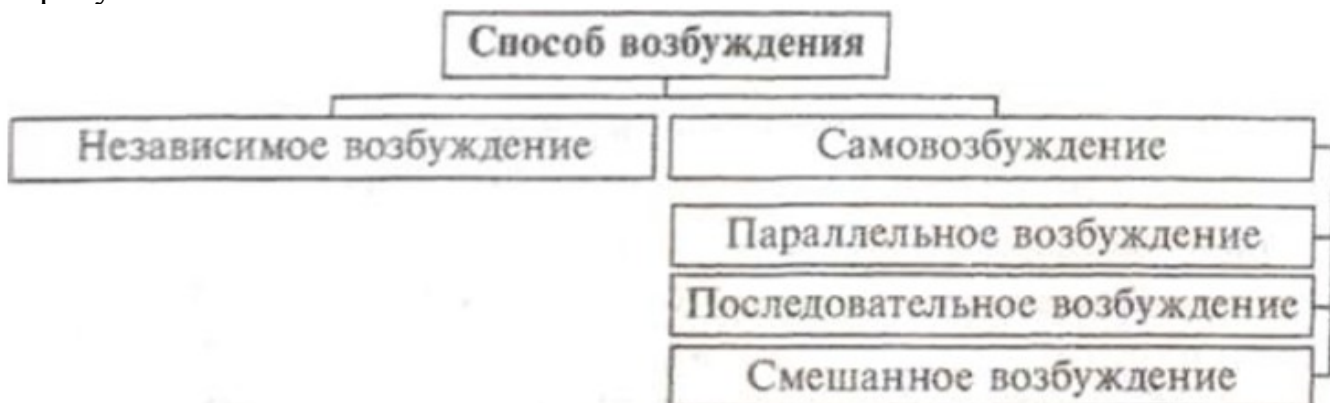


Рисунок 3 - Классификация машин постоянного тока по способу возбуждения

В машинах с независимым возбуждением магнитное поле создается обмоткой возбуждения, подключенной к постороннему источнику постоянного тока (рис. 4, а). Из-за необходимости иметь посторонний источник эти машины не получили широкого распространения.

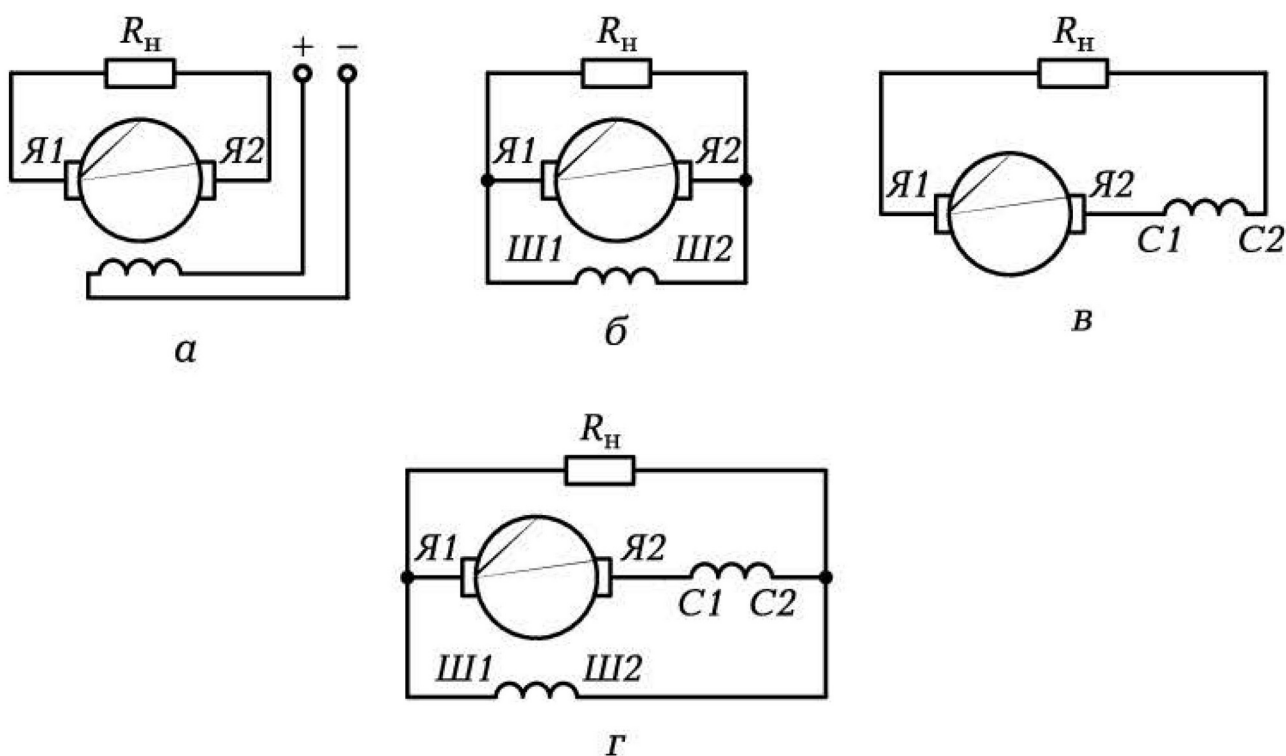


Рисунок 4 - Машины постоянного тока с независимым (а), параллельным (б), последовательным (в) и смешанным (г) возбуждением

В машинах с самовозбуждением обмотка возбуждения (ОВ) соединена с обмоткой якоря. В зависимости от способа соединения обмоток якоря и возбуждения различают машины с параллельным, последовательным и смешанным возбуждением.

В машинах с параллельным возбуждением обмотка возбуждения соединена параллельно с обмоткой якоря (рис. 4, б).

Рассмотрим принцип работы генератора с параллельным возбуждением.

В момент пуска якорь неподвижен и ток I_a в его обмотках отсутствует. Вследствие остаточного магнетизма стали станина и полюсы генератора сохраняют очень слабое магнитное поле, оставшееся после заводских испытаний или последнего включения генератора. Когда якорь начинает вращаться, его обмотки пересекают это остаточное поле и в них наводится небольшая по величине ЭДС. При этом в обмотке якоря индуктируется ток I_a . Последний от положительной щетки растекается по двум параллельным ветвям: внешней цепи с нагрузкой R_H и обмотке возбуждения. Ток I_b в обмотке возбуждения вызывает усиление магнитного поля, что в свою очередь приводит к увеличению ЭДС якоря и к еще большему увеличению тока возбуждения и т. д. Этот процесс протекает очень быстро и длится до тех пор, пока ток возбуждения, магнитное поле и напряжение на зажимах генератора не достигнут нормальной рабочей величины, и только после этого к зажимам генератора подключают нагрузку R_H .

Как следует из схемы соединения обмоток якоря и возбуждения, в процессе работы генератор сам обеспечивает питание своей обмотки возбуждения. Напряжение на зажимах генератора регулируется реостатом R_a , включенным в цепь обмотки возбуждения. Генераторы параллельного возбуждения используются для питания электрооборудования автомобилей и тракторов, зарядки аккумуляторов на зарядных станциях, в качестве источников постоянного тока в тепловозах и т. д. Основным их достоинством является то, что их напряжение мало зависит от мощности подключенных к ним потребителей.

Электродвигатели постоянного тока

Принцип действия электродвигателей постоянного тока основан на взаимодействии тока, протекающего в обмотке якоря, и магнитного поля, создаваемого полюсами электромагнитов. В результате такого взаимодействия проводник с током выталкивается из магнитного поля. Так как проводник выполнен в виде рамки, то, рамка начнет вращаться. Направление вращения рамки зависит от полярности приложенного к полукольцам со щетками напряжения. Если к щетке А (см. рис. 2, а) подключить отрицательный полюс источника напряжения, а к щетке Б — положительный, то ток в проводнике *a* потечет «от нас», а в проводнике *б* — «к нам». Согласно правилу левой руки рамка повернется по часовой стрелке. Когда проводники *a* и *б* займут горизонтальное положение, вращающий момент, создаваемый выталкивающими силами, исчезнет, но рамка проходит это положение по инерции и направление тока в ее проводниках изменится на противоположное. Эта ситуация будет повторяться через каждые 180° поворота. С помощью правила левой руки можно определить, что направление вращения рамки осталось прежним. Таким образом, чтобы рамка непрерывно вращалась в магнитном поле, необходимо изменять в ней направление тока. В отличие от генератора постоянного тока, в котором коллектор является выпрямителем переменного тока в рамке, в электродвигателях постоянного тока коллектор используется для преобразования постоянного тока источника напряжения в переменный ток, протекающий по рамке.

Пуск электродвигателя постоянною тока

На рисунке 5 приведена схема пуска и регулирования частоты вращения электродвигателя параллельного возбуждения.

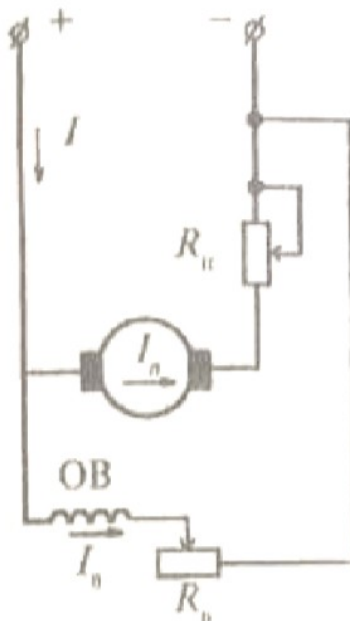


Рисунок 5 - Схема пуска и регулирования электродвигателя

Последовательно с якорем включен пусковой реостат R_a последовательно с обмоткой возбуждения — регулировочный реостат R_b . При подключении электродвигателя к источнику постоянного напряжения ток обмотки возбуждения создает магнитное поле, которое, взаимодействуя с током I_a , вызовет вращение якоря. В первый момент пуска, когда якорь неподвижен и только начинает набирать обороты, в цепи якоря протекает очень большой ток $I_a = (10^{-1} - 100)I_{ном}$. Это приводит к искрению на коллекторе, а сам электродвигатель и соединенный с ним механизм испытывают сильный механический толчок. Пусковой реостат обеспечивает уменьшение пускового тока и предотвращает механический толчок. Перед пуском электродвигателя сопротивление пускового реостата должно быть максимальным. Затем, по мере возрастания частоты вращения якоря, ток в нем уменьшается и сопротивление пускового реостата плавно уменьшается. Когда частота вращения якоря достигнет номинального значения, сопротивление пускового реостата должно быть сведено к нулю.

Кроме искрения, есть еще одна особенность машин постоянного тока. Ток якоря создает собственный магнитный поток, который искажает и уменьшает основной магнитный поток. Это явление называется реакцией якоря. Для уменьшения реакции якоря между основными полюсами устанавливаются дополнительные полюса, а также в пазы основных полюсных наконечников укладывается компенсационная обмотка.

Пусковые реостаты используются для пуска электродвигателей мощностью более 6 кВт. Электродвигатели меньшей мощности имеют сравнительно небольшой пусковой ток и поэтому могут запускаться без пусковых реостатов.

Регулировать частоту вращения якоря можно двумя способами:

- 1) изменением сопротивления цепи якоря;
- 2) изменением индукции магнитного поля основных полюсов.

Для реализации первого способа последовательно с якорем необходимо включить специальный регулировочный реостат или использовать пусковой реостат R_a . Этот способ не очень удобен, так как реостаты должны быть рассчитаны на большие рабочие токи якоря и поэтому получаются громоздкими и дорогими. Кроме

того, при длительном прохождении тока в реостатах расходуется большое количество электроэнергии на бесполезное выделение тепла.

Второй способ наиболее распространен, так как лишен недостатков первого способа. Частота вращения якоря обратно пропорциональна индукции магнитного поля основных полюсов, поэтому при необходимости, например, увеличить частоту вращения якоря требуется уменьшить ток возбуждения I_B и наоборот, для уменьшения частоты вращения якоря ток возбуждения нужно увеличить.

Частота вращения якоря электродвигателя постоянного тока может регулироваться в очень широких пределах.

Реверсирование двигателя (изменение направления вращения якоря) осуществляется одним из двух способов:

- изменением полярности включения в сеть обмотки якоря. Данный способ реверсирования может применяться под напряжением;
- изменением полярности включения в сеть обмотки возбуждения. Данный способ реверсирования под напряжением не применяется, так как при отключении от сети обмотки возбуждения в ней наводится значительная ЭДС самоиндукции, опасная для целостности изоляции обмотки.

Электродвигатели с последовательным возбуждением применяются в качестве тяговых двигателей электровозов, поездов метрополитена, трамвая, электрических подъемных кранов.

Характеристики машин постоянного тока

Существует два вида характеристик работы машин постоянного тока: характеристика холостого хода и внешняя характеристика. См рис. 6.

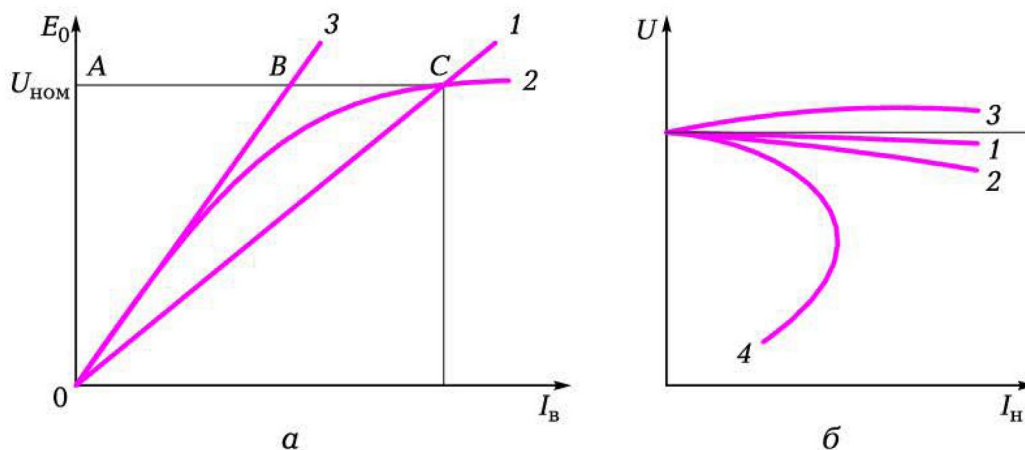


Рисунок 6 – Характеристики генератора постоянного тока:
а – холостого хода; б – внешняя

Характеристика холостого хода, представляющая собой зависимость ЭДС E_0 от тока возбуждения I_B , позволяет судить о магнитных свойствах генератора. Ее можно рассматривать как магнитную характеристику машины $\Phi_0 = f(I_B)$. Увеличение тока возбуждения ведет к увеличению магнитного потока, а следовательно, и ЭДС.

Причем в начальной части, пока магнитная цепь машины не насыщена, характеристика близка к прямой линии (прямой 3 на рис. 6, а). Намагничивающая сила обмотки возбуждения $I_B W_B$ практически равна падению магнитного напряжения в воздушном зазоре, так как магнитная индукция в ферромагнитном материале невелика и он не насыщен, т. е. имеет небольшое магнитное

сопротивление. По мере роста тока возбуждения магнитная индукция на ферромагнитных участках растет, что ведет к насыщению этих участков. При этом линейный характер зависимости нарушается (кривая 2 на рис. 6, а).

По характеристике холостого хода можно судить о степени насыщения магнитной системы генератора. Коэффициент насыщения K_s определяется отношением отрезков AC и AB ($K_s = AC/AB$), так как отрезок AB характеризует ненасыщенную машину, у которой вся намагничивающая сила расходуется в воздушном зазоре, а отрезок BC — падение намагничивающей силы в ферромагнитной части магнитопровода.

При $K_s < 1,25$ машина насыщена слабо, при $K_s = 1,25 \dots 1,75$ насыщение машины среднее, при $K_s > 1,75$ машина насыщена сильно.

Внешняя характеристика генератора $U=f(I_H)$ представляет собой зависимость выходного напряжения генератора от тока нагрузки при неизменной частоте вращения якоря ($n = \text{const}$).

В зависимости от способа включения обмоток возбуждения внешняя характеристика принимает различный вид (рис. 6, б).

Кривая 1 соответствует генератору с независимым возбуждением. Уменьшение напряжения при увеличении тока нагрузки объясняется в основном увеличением падения напряжения на сопротивлении якорной цепи (внутреннем сопротивлении источника).

Кривая 2 соответствует генератору с параллельным возбуждением. Ее более резкое падение объясняется дополнительным уменьшением тока возбуждения при снижении выходного напряжения.

В машине со смешанным возбуждением и согласным включением обмоток (обе увеличивают магнитный поток) можно компенсировать падение напряжения (кривая 3) за счет использования обмотки последовательного возбуждения.

При встречном включении обмоток (намагничивающие силы их направлены встречно) выходное напряжение падает резко (кривая 4), так как магнитный поток создается разностью намагничивающих сил параллельной и последовательной обмоток возбуждения. Подобный способ возбуждения применяется сравнительно редко, но иногда он является единственно возможным (например, в сварочных генераторах постоянного тока).