

ГЕНЕРАТОР ПОСТОЯННОГО ТОКА

1. Общие сведения о машинах постоянного тока.
2. Принцип действия генератора постоянного тока.
3. Принцип работы двигателя постоянного тока.
4. Рабочий процесс машины постоянного тока.
5. Генераторы постоянного тока.
6. Двигатели постоянного тока.

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И УСТРОЙСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

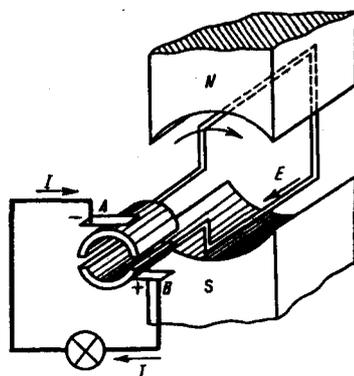
Общие сведения. По масштабам применения электрические машины постоянного тока уступают более простым, надежным и дешевым машинам переменного тока, однако в ряде областей техники они незаменимы.

Электродвигатели постоянного тока применяются в качестве привода — механизмов, требующих больших пусковых моментов и регулирования частоты вращения в широких пределах, например тяговых двигателей в электрическом транспорте, шахтных подъемниках, прокатных станах. Широкое применение находят машины постоянного тока в автоматических устройствах в качестве измерителей частоты, преобразователей сигналов, исполнительных двигателей и т. д. В специальных устройствах металлообрабатывающих станков машины постоянного тока позволяют значительно упрощать механические схемы регулирования частоты вращения. Созданы машины постоянного тока в диапазоне мощностей — от долей ватта до тысяч киловатт, напряжений — от нескольких вольт до десятков тысяч вольт, частот вращения — от нескольких десятков оборотов в минуту до десятков тысяч и т. д.

Двигатель постоянного тока изобрел в 1834 г. великий русский электротехник Б. С. Якоби.

Принцип действия генератора постоянного тока. В генераторе происходит преобразование механической энергии в электрическую.

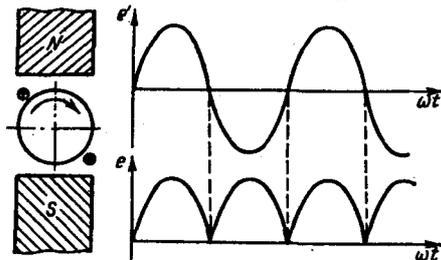
Рассмотрим принцип действия генератора постоянного тока (рис.1). В соответствии с законом электромагнитной индукции во вращающихся в магнитном поле витках (один из которых показан на рисунке) наводится ЭДС.



Верно ли, что эта ЭДС при неизменной частоте вращения витков является постоянной? — а) да; б) нет.

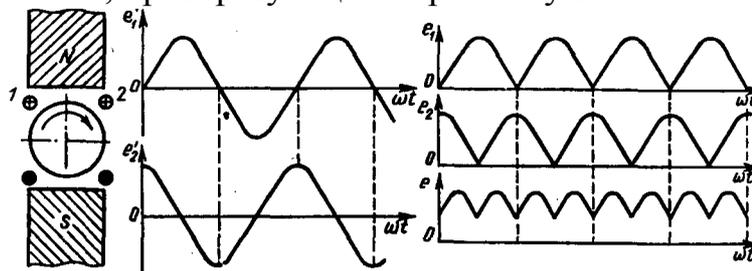
Во время работы генератора постоянного тока, в каждом витке вращающейся в магнитном поле обмотки возникает ЭДС, непрерывно изменяющая свои значения по синусоидальному закону. Для получения постоянной ЭДС генератор снабжается коллектором. На (рис.1) коллектор представляет собой две половины медного кольца, разрезанного точно по линии, проходящей через середину промежутка между полюсами, по так называемой геометрической нейтрали. Половины кольца электрически связаны с концами витка, изолированы друг от друга и находятся в контакте с неподвижными щетками **A** и **B**. В положении, показанном на рисунке, индуцированная в витке ЭДС направлена во внешней цепи от щетки **B** к щетке **A**. После прохождения витка через нейтраль направление ЭДС в витке изменяется на обратное, но при этом вследствие перехода щеток на другие половины кольца происходит переключение — коммутация — внешней цепи так, что ЭДС будет действовать во внешней цепи в прежнем направлении. В результате коллектор преобразует синусоидальную ЭДС e в пульсирующую ЭДС e (рис.2).

Если m витков расположить равномерно по окружности якоря и разрезать медное кольцо на $2m$ секций, подсоединив концы витков к соответствующим секциям образованного таким образом коллектора, пульсация ЭДС



генератора уменьшится. Это показано на (рис.3) при $m=2$. Пульсации ЭДС практически незаметны уже при $m=16$. В этом случае ток во внешней цепи генератора можно считать постоянным не только по направлению, но и по численному значению.

Таким образом, коллектор представляет собой механический выпрямитель, преобразующий переменную



ЭДС в постоянную. Существуют и другие способы преобразования переменного тока в постоянный, например с помощью полупроводниковых выпрямителей.

Что целесообразнее применить в генераторе постоянного тока для преобразования переменного тока в постоянный: в) коллектор? г) полупроводниковый выпрямитель?

Коллектор машины постоянного тока является самой ответственной в эксплуатации деталью, так как его скользящий контакт требует постоянного наблюдения и ухода: очистки от пыли, нагара, поддержания оптимального давления между трущимися поверхностями, замены износившихся щеток. Этих недостатков лишены полупроводниковые выпрямители, не имеющие движущихся частей и обеспечивающие бесконтактное выпрямление тока. Поэтому в настоящее время существует тенденция замены генераторов с коллекторами на генераторы переменного тока с полупроводниковыми выпрямителями, например в электрооборудовании автомобилей, кораблей, самолетов.

При холостом ходе генератора ток якоря равен нулю и приводной двигатель преодолевает только моменты трения. При нагрузке генератора на проводники с токами обмотки якоря действует электромагнитная сила, создающая тормозной момент, направленный навстречу вращающему моменту приводного двигателя. При этом чем больше мощность приемников электрической энергии, подключенных к генератору, тем больше ток в обмотке якоря и силы, препятствующие вращению. Соответственно увеличиваются и затраты механической энергии на вращение якоря генератора.

Принцип работы двигателя постоянного тока. В двигателе происходит преобразование электрической энергии в механическую.

Учитывая принцип обратимости электрических машин, упрощенную модель генератора (рис. 1) можно использовать в качестве электродвигателя. Для этого к щеткам **A** и **B** вместо электрической лампы необходимо подключить источник постоянного напряжения U . В результате через обмотку якоря, имеющую сопротивление $R_{я}$ потечет ток $I_{я}$.

Взаимодействие этого тока с магнитным полем возбуждения машины создает электромагнитные силы, приводящие якорь во вращение.

Верно ли, что при работе двигателя ток якоря $I_{я}=U/R_{я}$ — д) да; е) нет.

В соответствии с формулой в проводниках обмотки якоря возникает противоЭДС, направленная навстречу току и приложенному к двигателю напряжению, поэтому ток якоря:

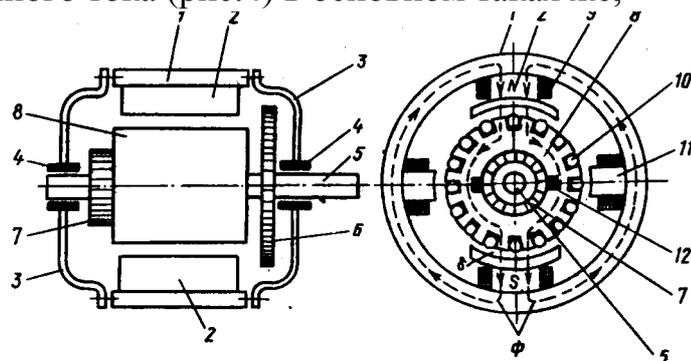
$$I_{я}=(U-E)/R_{я} \quad (1)$$

При каком режиме противоЭДС имеет максимальное значение: ж) при холостом ходе двигателя? з) при номинальной нагрузке двигателя?

ПротивоЭДС является фактором, регулирующим потребление мощности. При холостом ходе вращающему моменту противодействуют только моменты трения и частота вращения якоря достигает наибольшего значения, поэтому противоЭДС имеет максимальное значение. При этом она почти полностью уравновешивает напряжение сети и ток якоря минимален. При подключении

механической нагрузки частота вращения якоря уменьшается, значит, уменьшается противоЭДС. Это приводит к увеличению тока якоря по формуле (1) и мощности, потребляемой двигателем из сети.

Устройство машины постоянного тока. Конструкция машины постоянного тока (рис.4) в основном такая же,



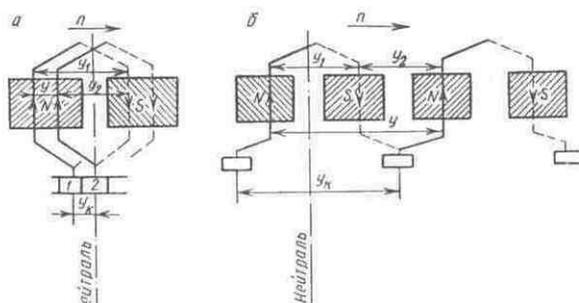
как и других электрических машин. Она имеет неподвижную часть — статор, который состоит из станины 1, магнитных полюсов 2, подшипниковых щитов 3 и подшипников 4. Внутри статора находится ротор, состоящий из сердечника якоря 8, коллектора 7, вала ротора 5 и вентилятора 6. Опорой ротора служат подшипники, укрепленные в боковых щитах.

Из какого материала целесообразнее выполнять станину машины постоянного тока: и) из стали? к) из алюминия?

Станина является несущей частью машины, на которой размещаются все остальные детали. Изнутри к станине крепятся главные полюсы 2. Полюс состоит из сердечника, полюсного наконечника и обмотки возбуждения 9. При протекании постоянного тока по обмотке возбуждения создается основной магнитный поток Φ машины, который замыкается по магнитной цепи, образованной сердечниками полюсов N и S, сердечником якоря, станиной и двумя воздушными зазорами δ . Так как станина является частью магнитопровода, ее выполняют из ферромагнитного материала, обычно из литой стали.

Кроме главных полюсов, имеются добавочные полюсы (цельный сердечник 11 и на нем обмотка), предназначенные для улучшения коммутации. Обмотка добавочных полюсов включается последовательно с обмоткой якоря и выполняется из толстого медного провода.

Обмотка якоря машины постоянного тока во многом похожа на обмотку статора асинхронной машины, но в отличие от нее замкнута на себя. В зависимости от порядка соединения секций между собой различают петлевую (рис. 9.5, а) и волновую (рис. 9.5, б) обмотки.



Их нетрудно различить, если следовать от одной секции к другой по схеме обмотки. Начало каждой последующей секции обмотки соединено с концом предыдущей секции и соответствующей пластиной коллектора. Следовательно, при перемещении от одной секции к другой по якорю одновременно делают шаг по коллектору (y_k).

Коллектор выполняется из медных пластин, к которым присоединяются начала и концы секций. Число пластин равно количеству секций обмотки. Коллекторные пластины изолированы друг от друга и от других деталей электроизоляционными миканитовыми (сланцевыми) прокладками.

К рабочей поверхности коллектора прилегают угольно-графитовые или металлоугольные щетки, закрепленные в специальных щеткодержателях.

Ответы: б, г, с, ж, и.

1. Каков принцип действия генератора и двигателя постоянного тока? 2. От каких факторов зависит мощность машины постоянного тока? 3. Какова роль противоЭДС в работе электродвигателя? 4. В чем назначение коллектора? 5. Какие детали машины входят в магнитную цепь? 6. Каково назначение якоря машины? 7. Как рассчитать ток якоря электродвигателя?

9.2. РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Ранее отмечалось, что в соответствии с принципом обратимости электрическая машина может работать в режиме генератора или электродвигателя и что в обоих режимах в обмотке якоря наводится ЭДС. Руководствуясь формулой (3.22), можно сделать вывод, что эта ЭДС пропорциональна магнитному потоку Φ машины и частоте вращения якоря n :

$$E \equiv n\Phi \quad (9.2)$$

Учитывая то, что в сопротивлении обмотки якоря $R_{я}$, нагруженной машины имеет место падение напряжения $I_{я}R_{я}$, напряжение на обмотке якоря не равно ее ЭДС.

Как выразить это напряжение через ЭДС при работе машины в режиме электродвигателя: а) $U = E + I_{я}R_{я}$? б) $U = E - I_{я}R_{я}$?

При работе машины в режиме электродвигателя действию напряжения сети (приложенному к якорю) противодействует противоЭДС и падение напряжения на сопротивлении якоря, поэтому в соответствии с положением (1) § 2.5

$$U = E + I_{я}R_{я} \quad (9.3)$$

При работе машины в режиме генератора в соответствии с положением (4) § 2.3

$$U = E - I_{я}R_{я} \quad (9.4)$$

На проводники с током обмотки якоря нагруженной машины со стороны магнитного поля полюсов действуют электромагнитные силы (тормозные у генератора и движущие у электродвигателя). Эти силы обуславливают электромагнитный момент машины $M_{эм}$.

Верно ли, что этот момент пропорционален магнитному потоку машины Φ и току якоря $I_я$? — в) да; г) нет.

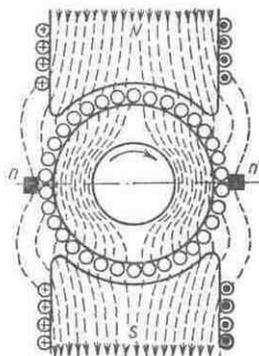
В соответствии с формулой (3.13) работа электромагнитных сил определяется по формуле $A = I\Phi$. Поэтому электромагнитный момент машины

$$M_{эм} \equiv I_я \Phi. \quad (9.5)$$

При холостом ходе магнитное поле машины симметрично относительно оси полюсов (рис. 9.6), физическая нейтраль (плоскость, проведенная через точки на поверхности якоря, где магнитная индукция равна нулю) совпадает с геометрической нейтралью $n - n'$.

В нагруженной машине ($I_я \neq 0$) обмотка якоря создает вторичное магнитное поле.

Как направлено это магнитное поле: д) навстречу магнитному потоку полюсов? е) в одну сторону с ним? ж) перпендикулярно к нему?



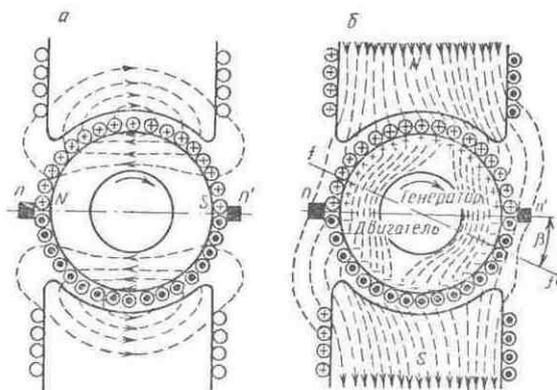
Вторичное магнитное поле якоря направлено перпендикулярно к оси полюсов (рис. 9.7, а). В результате наложения вторичного поля на основное образуется результирующее несимметричное магнитное поле (рис. 9.7, б), т. е. под одним краем полюса магнитная индукция уменьшена (так как поля направлены противоположно друг другу), а под другим краем — увеличена. Влияние вторичного магнитного поля якоря на магнитный поток машины называют реакцией якоря.

Как влияет реакция якоря на работу генератора: з) приводит к уменьшению ЭДС? и) увеличивает ЭДС?

Как влияет реакция якоря на работу электродвигателя: к) приводит к уменьшению вращающего момента? л) увеличивает вращающий момент?

В связи с перераспределением магнитной индукции в воздушном зазоре (за счет реакции якоря) происходит смещение физической нейтрали $f - f'$ на некоторый угол β . Это существенно ухудшает рабочие свойства машины

постоянного тока. Если щетки установлены на геометрической нейтрали, а физическая нейтраль смещена, то



создаются условия для возникновения искрения на коллекторе. Этому способствует и местное увеличение магнитной индукции под одним краем полюса, так как увеличиваются мгновенные значения ЭДС в секциях и напряжения между соседними коллекторными пластинами, что может привести к возникновению дуговых разрядов между пластинами и даже кругового огня на коллекторе. Более детальный анализ показывает, что в машине с насыщенной системой действие реакции якоря приводит к уменьшению средней магнитной индукции под полюсом. Размагничивающее действие усиливается при смещении щеток с геометрической нейтрали.

В результате размагничивающего действия реакции якоря, (в соответствии с формулами (9.2) и (9.5), уменьшаются ЭДС генератора и вращающий момент двигателя.

Отметим также, что при коммутации (переключении секций обмотки якоря при помощи коллектора из одной ветви в другую) в момент размыкания секции между щеткой и пластиной коллектора возникает искра. Она обусловлена реактивной ЭДС e_p , состоящей из ЭДС самоиндукции (связанной с изменением тока данной секции), ЭДС взаимной индукции (связанной с изменением тока в других секциях) и ЭДС вращения (наводимой вследствие того, что из-за реакции якоря магнитная индукция на геометрической нейтрали не равна нулю). Ток искры можно уменьшить путем увеличения сопротивления щеточного контакта, для чего применяют твердые щетки — графитные, металлоугольные. Но наиболее действенный метод улучшения коммутации заключается в устранении реактивной ЭДС в короткозамкнутых секциях обмотки путем установки добавочных полюсов. Эти полюсы создают в зоне коммутации (в зоне геометрической нейтрали) добавочную магнитную индукцию такой величины и направления, чтобы в переключаемых секциях наводилась ЭДС, направленная навстречу реактивной ЭДС e_p .

Ответы: а, в, ж, з, к.

1. В чем сущность принципа обратимости электрических машин? 2. Как выражается напряжение на зажимах машины через ЭДС якоря? 3. От каких факторов зависит электромагнитный момент машины? 4. Что такое реакция якоря? 5. Как влияет реакция якоря на работу машины? 6. Почему при коммутации между щеткой и пластиной коллектора возникает искра? Каковы пути борьбы с искрением?

энергии постоянного тока (рис. 9.8, а), и генераторы с самовозбуждением, в которых питание обмотки возбуждения производится от самого генератора.

Генераторы с самовозбуждением в свою очередь подразделяются на: 1) генераторы параллельного возбуждения (шунтовые), у которых обмотка возбуждения присоединена параллельно обмотке якоря (рис. 9.8, б); 2) генераторы последовательного возбуждения (серийные), у которых обмотка возбуждения присоединена последовательно обмотке якоря (рис. 9.8, в); 3) генераторы смешанного возбуждения (компаундные), имеющие две обмотки возбуждения: одну — включенную параллельно обмотке якоря, а другую — последовательно (рис. 9.8, г).

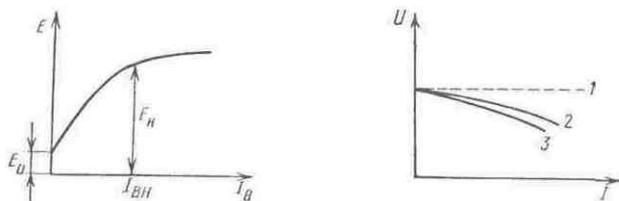
Если у генератора (рис. 9.8, а) оборвать цепь возбуждения ($I_b = 0$), то ЭДС якоря станет равной нулю? — а) да; б) нет.

Зависимость ЭДС генератора от тока возбуждения $E(I_b)$ называется характеристикой холостого хода генератора (рис. 9.9). Ее обычно строят по опытным данным при испытании генератора, увеличивая ток возбуждения I_b от нуля и поддерживая номинальную частоту вращения генератора.

Поскольку при $I_b = 0$ сердечники полюсов и станина сохраняют небольшой магнитный поток остаточного магнетизма, в обмотке якоря индуцируется остаточная ЭДС E_0 .

Характеристика холостого хода (рис. 9.9) представляет собой изображенную в другом масштабе часть петли гистерезиса (см. рис. 3.8) магнитной цепи генератора и имеет такой же вид, как зависимость $B(H)$ так как $E \equiv B$, а $H \equiv I_b$.

Остаточная ЭДС E_0 позволяет осуществить самовозбуждение генераторов. Так, у генераторов параллельного возбуждения (рис. 9.8, б) E_0 создает ток в обмотке возбуждения I_b , который подмагничивает машину,



увеличивая ее магнитный поток Φ . Это в свою очередь приводит к увеличению ЭДС и последующему росту тока возбуждения, магнитного потока, вновь ЭДС и т. д. Возрастающей ЭДС оказывает противодействие падение напряжения в цепи возбуждения $I_b R_b$.

При каком условии происходит возрастание ЭДС: в) $E < I_b R_b$? г) $E > I_b R_b$?

Процесс самовозбуждения генератора закончится тогда, когда ЭДС станет равной падению напряжения в обмотке возбуждения. При этом установится определенное значение напряжения на зажимах генератора, равное ЭДС. Чтобы это напряжение увеличить, необходимо уменьшить добавочное сопротивление в цепи обмотки возбуждения, т. е. уменьшить $I_b R_b$, противодействующее ЭДС.

Следует отметить, что самовозбуждение генератора может не произойти при малой частоте вращения генератора (малой E_0), или при большом сопротивлении цепи обмотки возбуждения, или в том случае, если магнитный

поток, вызываемый током возбуждения, направлен встречно потоку остаточной магнитной индукции. В последнем случае необходимо изменить направление тока I_v на обратное, поменяв полярность подключения обмотки возбуждения.

Зависимость напряжения на зажимах генератора от тока нагрузки $U(I)$ при постоянной частоте вращения и постоянном сопротивлении цепи возбуждения называется внешней характеристикой.

В соответствии с формулой (9.4) внешняя характеристика генератора описывается уравнением $U = E - I_v R_v$, представляющим собой прямую линию **1** (рис. 9.10) при условии, что E имеет постоянное значение. Однако при увеличении тока якоря увеличивается его магнитный поток, оказывающий, по закону Ленца, размагничивающее действие на поле возбуждения машины, что уменьшает ЭДС и напряжение генератора. Поэтому внешняя характеристика генератора имеет вид кривых **2** и **3**.

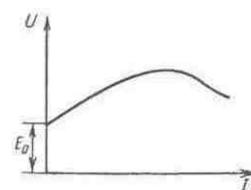
Верно ли при этом, что кривая 2 (рис. 9.10) — внешняя характеристика генератора независимого возбуждения, а кривая 3 — генератора параллельного возбуждения? — д) да; е) нет.

При независимом возбуждении генератора ток возбуждения не зависит от нагрузки. У генератора параллельного возбуждения при уменьшении напряжения (по указанной выше причине) уменьшается ток возбуждения $I_v = U/R_v$, что вызывает дополнительное уменьшение магнитного потока Φ и напряжения U . Поэтому с ростом тока нагрузки у генератора с параллельным возбуждением происходит более значительное снижение напряжения, чем у генератора с независимым возбуждением.

Верно ли, что генератор последовательного возбуждения (см. рис. 9.8, в) имеет внешнюю характеристику, подобную внешней характеристике генератора параллельного возбуждения? — ж) да; з) нет.

Ток возбуждения генератора последовательного возбуждения равен току нагрузки, поэтому увеличение этого тока приводит к возрастанию магнитного потока возбуждения,

а значит, к увеличению ЭДС и напряжения генератора (рис. 9.11). Однако по мере насыщения магнитопровода рост ЭДС замедляется, а размагничивающее действие тока якоря проявляется все сильнее. Поэтому напряжение, достигнув максимального значения, начинает снижаться.



Каковы достоинства генератора смешанного возбуждения в сравнении с генератором параллельного возбуждения? — и) меньше ток возбуждения; к) меньше колебания напряжения при изменении тока нагрузки.

В генераторе смешанного возбуждения размагничивающее действие тока якоря компенсируется подмагничивающим действием тока возбуждения последовательной (серийной) обмотки возбуждения. В результате напряжение генератора почти не изменяется при колебаниях тока нагрузки. Это является важным достоинством, обусловившим более широкое применение генераторов смешанного возбуждения.

Если серийную и шунтовую обмотки возбуждения генератора включить так, что их магнитные потоки будут направлены встречно, то при увеличении тока нагрузки поток серийной обмотки размагничивает машину, что приводит к резкому уменьшению напряжения. Такие машины используются в качестве сварочных генераторов, где требуется относительное постоянство сварочного тока при изменении напряжения в широких пределах вплоть до значений, близких к нулю (когда электрод касается свариваемой детали).

Ответы: б, г, д, з, к.

1. Поясните, как происходит самовозбуждение генератора постоянного тока? 2. Какие схемы возбуждения генераторов вы знаете? 3. Чем отличаются характеристики холостого хода генераторов независимого и смешанного возбуждения? 4. Чем отличаются внешние характеристики генераторов параллельного и последовательного возбуждения? 5. Каковы достоинства генераторов смешанного возбуждения? Где применяются эти генераторы?

9.4. ДВИГАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

На практике получили распространение двигатели постоянного тока как параллельного возбуждения, так и последовательного.

Ток якоря двигателей рассчитывается по формуле (9.1). Так как при неподвижном якоре противоЭДС отсутствует, пусковой ток двигателя $I_n = U/R_{я}$ значительно превышает номинальный ток $I_{ном}$. Это обусловлено также тем, что сопротивление обмотки якоря $R_{я}$ двигателя выполняют по возможности малым, чтобы уменьшить потери на нагрев обмотки.

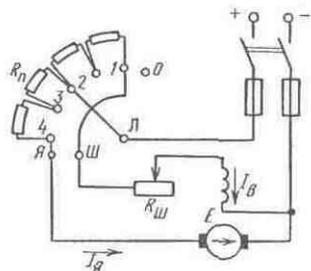
Если сравнить двигатель постоянного тока с двигателем переменного тока равной мощности, то какой из них имеет большую кратность пускового тока $K_n = I_n/I_{ном}$: а) двигатель постоянного тока? б) двигатель переменного тока?

При непосредственном включении двигателя постоянного тока в сеть на номинальное напряжение его пусковой ток $I_n = U/R_{я}$ оказывается в 10—15 раз больше номинального, так как сопротивление якоря относительно мало. Для двигателей переменного тока $K_n = 5—7$. Такая разница объясняется тем, что

при переменном токе обмотки двигателя, кроме активного, имеют еще и индуктивное сопротивление, что уменьшает пусковой ток.

Из-за больших пусковых токов, способных повредить обмотку якоря, коллектор и щетки, пуск двигателя постоянного тока прямым включением в сеть допустим только для двигателей малой мощности (менее 500 Вт), у которых более значительные сопротивления якоря, ограничивающие пусковой ток. Для пуска более мощных двигателей применяют пусковой реостат с сопротивлением R_n (рис. 9.12). Он включается последовательно обмотке якоря, что уменьшает пусковой ток $I_n = R_n + R_n$

Пусковой реостат обычно выполняется ступенчатым и имеет зажимы: L — линия, $Я$ — якорь и $Ш$ — шунт. Ручка реостата соединена с зажимом L и до запуска двигателя находится на контакте 0. При запуске она последовательно перемещается в крайнее левое положение,



что уменьшает число включенных секций реостата. По окончании пуска реостат полностью выводится из работы.

Из формулы $I_n = U/R_n$ следует, что ограничение пусковых токов двигателя можно осуществить также путем снижения напряжения. Этот способ находит все более широкое применение на практике. Для питания электродвигателей применяют управляемые выпрямители на тиристорах с регулируемым выходным напряжением, которые рассматриваются в § 15.6.

Верно ли, что двигатель постоянного тока в сравнении с асинхронным двигателем переменного тока равной мощности имеет значительно больший пусковой вращающий момент M_n ? — в) да; г) нет.

По формуле (9.5) вращающий момент имеет максимальное значение при пусковом токе. Это выгодно отличает двигатели постоянного тока от асинхронных двигателей переменного тока, у которых пусковые моменты относительно малы.

Как изменится частота вращения якоря при увеличении тока возбуждения двигателя: д) увеличится? е) уменьшится?

Используя формулы (9.2) и (9.3), получаем

$$n \approx E/\Phi = (U - I_a R_a)/\Phi \quad (9.6)$$

Отсюда следует, что при увеличении магнитного потока Φ за счет роста тока возбуждения I_b частота вращения двигателя уменьшается.

Таким образом, изменяя ток возбуждения, можно плавно и в широких пределах регулировать частоту вращения двигателя.

Из формулы (9.6) также следует, что регулирование частоты вращения двигателя можно осуществлять путем изменения напряжения на его входных зажимах (например, при помощи тиристорных преобразователей).

Если оборвать цепь возбуждения двигателя постоянного тока, как при этом изменится частота вращения якоря: ж) увеличится? з) уменьшится до нуля и якорь остановится?

Вследствие малого значения сопротивления якоря $R_{я}$ падение напряжения в цепи якоря невелико. Поэтому при постоянных значениях U и $R_{я}$ ток якоря резко возрастает при небольшом уменьшении противоЭДС. Так, при $R_{я} = 0,2 \text{ Ом}$, $U = 220 \text{ В}$ и токе якоря 10 А по формуле (9.3) $E = U - I_{я}R_{я} = 220 - 2 = 218 \text{ В}$. Если противоЭДС уменьшится всего на 10 В (примерно на 5%), ток якоря станет равным $I_{я} = (220 - 208)/0,2 = 60 \text{ А}$, т. е. увеличится в 6 раз.

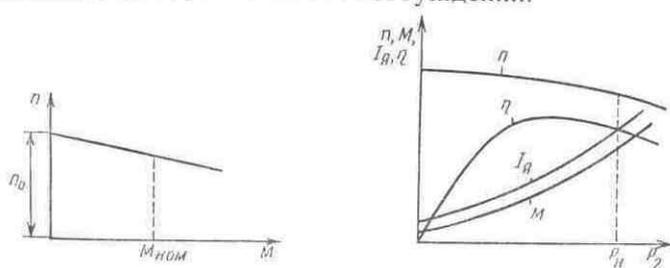
При обрыве цепи возбуждения противоЭДС резко уменьшается за счет уменьшения магнитного потока до значения потока остаточного магнетизма. Это вызывает многократное возрастание тока якоря и за счет этого — вращающего момента двигателя. В результате двигатель постоянного тока идет «вразнос». При этом центробежные силы могут деформировать обмотку якоря, якорь заклинивает, а в некоторых случаях и разрушается. Особенно вероятен режим «вразноса» у ненагруженного двигателя.

Как изменяется частота вращения двигателя при увеличении нагрузки (тормозного момента сопротивления M_m) на валу двигателя параллельного возбуждения (см. рис. 9.12)? — и) практически не изменяется; к) резко падает.

За счет увеличения тока якоря при росте нагрузки двигателя автоматически увеличивается вращающий момент. В результате частота вращения двигателя параллельного возбуждения почти не изменяется (рис. 9.13). Такая механическая характеристика двигателя называется жесткой.

Зависимости частоты вращения n , тока якоря $I_{я}$, вращающего момента M и КПД η от полезной мощности P_2 на валу двигателя при постоянном напряжении сети называют рабочими характеристиками.

На рис. 9.14 приведены рабочие характеристики двигателя параллельного возбуждения, а на рис. 9.15, б — двигателя последовательного возбуждения.

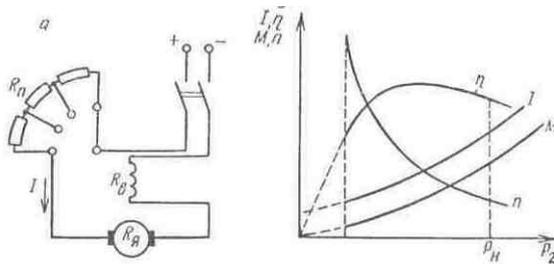


Двигатель последовательного возбуждения (рис. 9.15, а) имеет вращающий момент, пропорциональный квадрату тока, так как магнитный поток возбуждения создается током нагрузки, проходящим по обмотке возбуждения ($\Phi \equiv I$, поэтому $M \equiv \Phi I \equiv I^2$). Отсюда следует, что эти двигатели

развивают большие пусковые моменты, что важно для электропривода на транспорте (благодаря этому электропоезд способен быстро набирать скорость после остановки).

Следует отметить, что для двигателей последовательного возбуждения опасен режим холостого хода, так как при уменьшении нагрузки на валу до нуля частота вращения двигателя неограниченно увеличивается и двигатель идет «вразнос». Это обстоятельство требует такого сочленения двигателя с рабочей машиной, при котором режим холостого хода был бы исключен. В частности, нельзя применять ременную передачу, так как при ослаблении или обрыве ремня двигатель пойдет «вразнос».

Выраженная зависимость частоты вращения двигателя последовательного возбуждения от нагрузки (см. рис. 9.15, б) ограничивает применение этих двигателей.



Отношение полезной механической мощности на валу двигателя P_2 к электрической мощности на входе двигателя P_1 выражает КПД двигателя:

$$\eta = P_2/P_1 = (P_1 - P_v - P_{\text{я}} - P_{\text{мех}})/P_1,$$

где $P_v = I_v^2 R_v$ — потери в цепи возбуждения; $P_{\text{я}} = I_{\text{я}}^2 R_{\text{я}}$ — потери в цепи якоря; $P_{\text{мех}}$ — механические потери.

Ответы: а, в, е, ж, и.

1. Каковы достоинства и недостатки двигателей постоянного тока в сравнении с асинхронными двигателями переменного тока? 2. В каких случаях и почему двигатель постоянного тока может пойти «вразнос»? 3. В чем различия механических характеристик двигателей параллельного и последовательного возбуждения?