

2. Система пуска двигателя. Стартер

2.1. Общие сведения

Назначение: **система пуска двигателя** должна обеспечивать надежный пуск двигателя в заданном диапазоне внешних параметров (температура, влажность, давление). Например, низкие температуры влияют на вязкость моторного масла, воспламеняемость горючей смеси и т.п. Во время пуска пусковое устройство преодолевает силы трения и силы инерции движущихся масс стартера и двигателя. Часть энергии тратится на привод вспомогательных механизмов, наполнение цилиндров, удаление рабочего заряда.

Для надежного пуска карбюраторного двигателя необходимо обеспечить частоту вращения коленчатого вала от **40 до 85 об/мин** (в зависимости от внешних параметров). Для дизеля – **150–250 об/мин**.

Надежный электростартерный пуск – это пуск двигателя, оборудованного всеми навесными агрегатами, на основном топливе при использовании заряженных на 75% штатных АКБ не более чем за 3 попытки пуска (по 10 секунд с 1 мин. перерывом).

В системах управления электростартером предусмотрены электромагнитные тяговые реле, дополнительные реле и реле блокировки, обеспечивающие дистанционное включение, автоматическое отключение стартера от аккумуляторной батареи после пуска двигателя и предотвращение включения стартера при работающем двигателе (рис. 2.1).

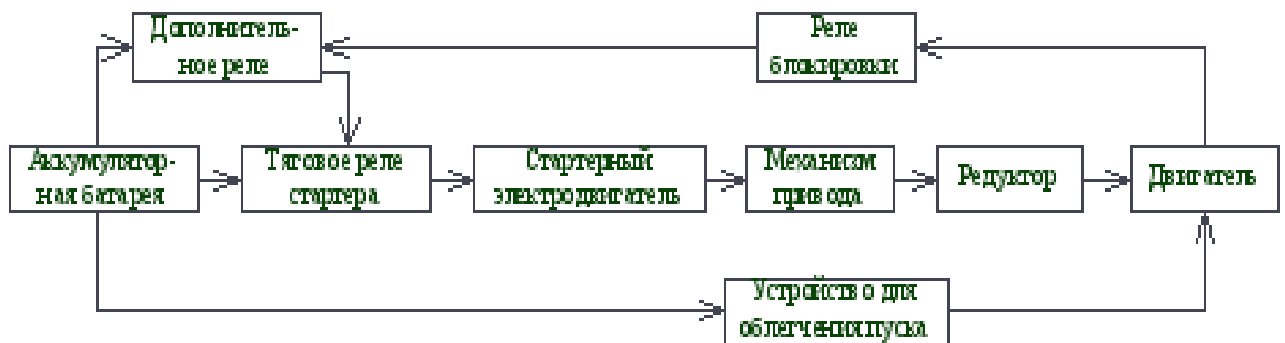


Рис. 2.1. Структурная схема системы пуска двигателя

2.2. Устройство и принцип действия стартера

Стартерный электродвигатель получает питание от аккумуляторной батареи через замкнутые контакты 2 (рис. 2.2) тягового электромагнитного реле. При замыкании контактов выключателя S приборов и стартера, дополнительного реле или реле блокировки втягивающая 3 и удерживающая 4 обмотки тягового реле

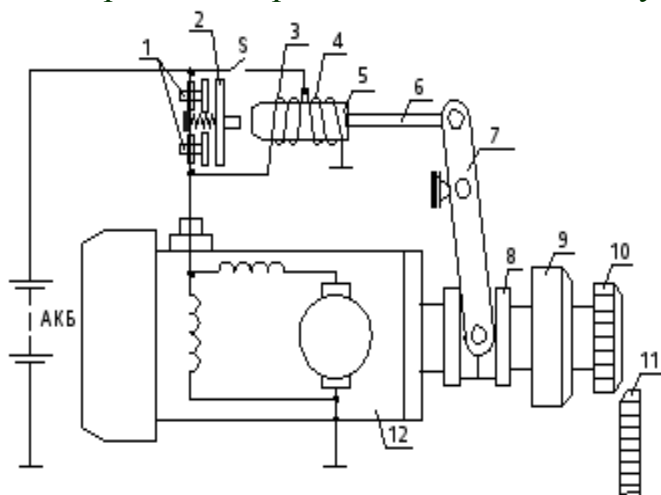


Рис. 2.2. Схема включения электростартера:

1-контактный болт; 2-подвижный контактный диск;
3, 4-соответственно втягивающая и удерживающая
обмотки тягового реле; 5-якорь тягового реле; 6-шток;
7-рычаг привода; 8-поводковая муфта; 9-муфта свобод-

коленчатый вал двигателя.

реле подключаются к аккумуляторной батарее. Якорь 5 тягового реле притягивается, сжимая пружину, к сердечнику электромагнита и с помощью штока 6 и рычага 7 механизма привода вводит шестерню 10 в зацепление с зубчатым венцом 11 маховика двигателя.

В конце хода якоря 5 контактная пластина 2 замыкает силовые контактные болты 1, и стартерный электродвигатель 12, получая питание от аккумуляторной батареи, приводит во вращение

После пуска двигателя **муфта** свободного хода 9 **предотвращает передачу вращающего момента** от маховика к валу якоря электродвигателя. Шестерня привода не выходит из зацепления с венцом маховика до тех пор, пока замкнуты контактные болты 1. При размыкании выключателя S втягивающая и удерживающая обмотки тягового реле подсоединяются к аккумуляторной батарее последовательно через силовые контактные болты 1. Так как число витков у обеих обмоток одинаково и по ним при последовательном соединении проходит один и тот же ток, обмотки при разомкнутом выключателе S создают два равных, но противоположно направленных магнитных потока. Сердечник электромагнита размагничивается, возвратная пружина перемещает якорь 5 реле в исходное нерабочее положение и выводит шестерню 10 из зацепления с зубчатым венцом маховика. При этом размыкаются и силовые контактные болты 1.

2.3. Характеристики стартера и электрической стартерной цепи

Работу стартеров оценивают по их рабочим и механическим характеристикам. Характеристики стартеров представляют собой зависимости их параметров (напряжения, крутящего момента, мощности, частоты вращения

якоря и др.) от потребляемого тока. По ОСТ 37.003.084-88 нормируют наибольшую полезную мощность (номинальную), максимальный крутящий момент, частоту вращения якоря и ток стартера в режиме холостого хода.

Наибольшая полезная мощность определяется в кратковременном режиме работы при питании от аккумуляторной батареи максимальной допустимой емкости. По ОСТ 37.003.084-88 эта мощность определяется при 100 % степени заряженности батареи и температуре электролита 20 °С. Чем больше мощность, тем лучше стартер.

Непосредственное измерение наибольшей полезной мощности в условиях автотранспортных предприятий - технически сложная задача. Поэтому на практике, как правило, используется простой метод расчета указанной мощности на основе баланса напряжений в стартерной цепи.

Максимальный крутящий момент измеряется в режиме полного торможения – вал стартера неподвижен. Для обеспечения надежного пуска двигателя, особенно в холодное время года, крутящий момент должен быть большим.

Частота вращения якоря в режиме холостого хода зависит от схем подключения обмоток статора. Отклонение измеренной частоты вращения от паспортной величины в сторону уменьшения указывает на значительные механические потери на трение в подшипниках и др.

Ток стартера в режиме холостого хода также отражает наличие механических потерь на вращение якоря. С ростом потерь потребляемый ток на холостом ходу увеличивается. Однако ток в режиме холостого хода резко увеличивается при наличии межвитковых замыканий обмоток статора или якоря, а также в случае разрывов электрических цепей в этих обмотках.

Максимальный крутящий момент, частота вращения якоря и ток стартера в режиме холостого хода замеряются при испытаниях стартера на стендах.

Механические и рабочие характеристики стартеров определяются в основном характеристиками стартерных электродвигателей, поэтому более подробно рассмотрим их устройство и принцип работы.

2.4. Устройство и принцип действия машин постоянного тока

Основной магнитный поток в машинах постоянного тока создается обмоткой возбуждения, которая расположена на сердечниках полюсов и питается постоянным током. На рисунках 2.3, 2.5 даны схематические изображения простейших машин постоянного тока в осевом направлении.

Как правило, изучение работы машин постоянного тока начинают с режима *генератора*

2.4. Устройство и принцип действия машин постоянного тока

2.4.1. Работа машины постоянного тока в режиме генератора

Якорь машины (рис. 2.3) приводится во вращение по часовой стрелке. Тогда в

проводниках обмотки якоря индуцируется ЭДС, направление которой может быть определено по правилу правой руки.

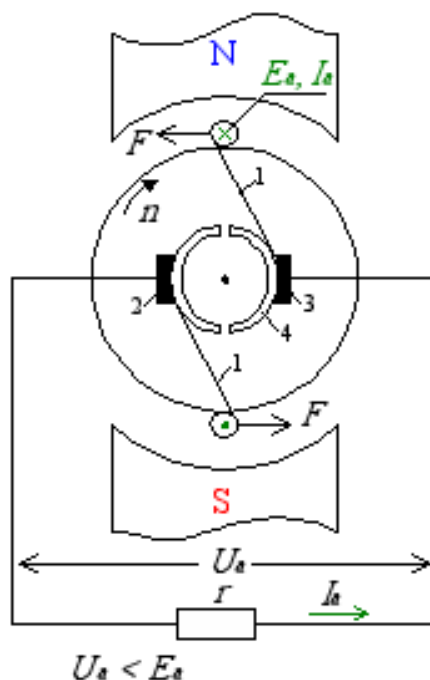


Рис. 2.3. Работа простейшей машины постоянного тока в режиме генератора

Поскольку поток полюсов предполагается неизменным, то эта ЭДС индуцируется только вследствие вращения якоря и называется ЭДС вращения. ЭДС, создаваемая в проводнике, перемещающемся в магнитном поле в направлении, перпендикулярном направлению магнитных линий этого поля находится следующим образом:

$$e = Blv,$$

где B - среднее значение магнитной индукции, Тл;

l - длина проводника, м;

v - скорость перемещения проводника, м/с.

При вращении якоря в его обмотке индуцируется ЭДС:

$$E_a = c_e \cdot \Phi \cdot n, \quad (2.1)$$

где c_e - постоянная электрической машины, не зависящая от режима ее работы;

n — частота вращения якоря машины в минуту;

Φ - магнитный поток одного полюса, проходящий через воздушный зазор и якорь электродвигателя.

Последнее выражение показывает, что для изменения ЭДС (или напряжения) машины необходимо изменить либо частоту вращения якоря, либо магнитный поток полюсов. Так как изменение частоты вращения двигателя, приводящего в движение генератор, связано со значительными сложностями, то на практике регулировку ЭДС и напряжения производят изменением магнитного потока, который зависит от тока в обмотке возбуждения. В цепь обмотки возбуждения включают реостат для изменения тока возбуждения.

ЭДС E_a является переменной, так как проводники обмотки якоря проходят попеременно под северным и южным полюсами, в результате чего направление ЭДС в проводниках меняется. По форме кривая ЭДС проводника в зависимости от времени t повторяет кривую распределения индукции B вдоль воздушного зазора (рис 2.4, а).

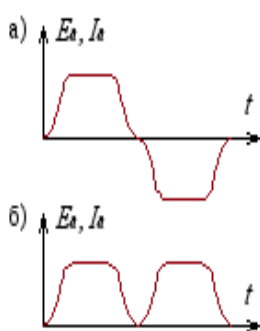


Рис. 2.4. Кривые ЭДС и тока простейшей машины в якоре (а) и во внешней цепи (б)

Если обмотка якоря с помощью щеток замкнута через внешнюю цепь, то в этой цепи, а также в обмотке якоря возникает ток I_a .

В обмотке якоря этот ток будет переменным, и кривая его по форме аналогична кривой ЭДС (рис. 2.4, а). Однако во внешней цепи направление тока будет постоянным, что объясняется действием коллектора, принцип действия которого состоит в следующем. Концы витка 1 (см. рис. 2.3)

присоединены к двум медным полукольцам (сегментам), называемым коллекторными пластинами. Пластины жестко укреплены на валу машины и изолированы как друг от друга, так и от вала. На пластинах помещены неподвижные щетки 2 и 3, электрически соединенные с приемником энергии.

При вращении витка коллекторные пластины также вращаются вместе с валом машины и каждая из неподвижных щеток 2 и 3 соприкасается то с одной, то с другой пластиной. Щетки на коллекторе установлены так, чтобы они переходили с одной пластины на другую в тот момент, когда ЭДС, индуцируемая в витке, была равна нулю. В этом случае при вращении якоря в витке индуцируется переменная ЭДС, изменяющаяся практически синусоидально при равномерном распределении магнитного поля, но каждая из щеток соприкасается с той коллекторной пластиной и соответственно с тем из проводников, который в данный момент находится под полюсом определенной

полярности.

Следовательно, ЭДС на щетках 2 и 3 знака не меняет, и ток по внешнему участку замкнутой электрической цепи проходит в одном направлении от щетки 2 через сопротивление r к щетке 3 (рис. 2.4, б). Однако, несмотря на неизменность направления ЭДС во внешней цепи величина ее меняется во времени, т.е. получена не постоянная, а пульсирующая ЭДС. Ток во внешней цепи будет также пульсирующим.

Для получения практически свободных от пульсаций тока и напряжения применяют более сложные по устройству обмотку якоря и коллектор (если поместить на якоре два витка под углом 90° один к другому и концы этих витков соединить с четырьмя коллекторными пластинами, то пульсация ЭДС и тока во внешней цепи значительно уменьшится; при увеличении числа коллекторных пластин пульсация быстро уменьшается и при большом числе коллекторных пластин ЭДС и ток практически постоянны).

Напряжение постоянного тока на зажимах якоря генератора будет меньше E_a на величину падения напряжения на полном сопротивлении обмотки якоря r_a :

$$U_a = E_a - I_a r_a. (2.2)$$

На проводники с током действуют силы, эти силы создают механический вращающий момент, который называется электромагнитным моментом:

$$M_{эм} = c_m \cdot \Phi \cdot I_a (2.3)$$

(этот момент противодействует вращению). При этом электромагнитная мощность:

$$P_{эм} = E_a \cdot I_a = M_{эм} \Omega, (2.4)$$

где Ω – угловая частота вращения якоря.

2.4.2. Работа машины постоянного тока в режиме двигателя

Рассматриваемая простейшая машина может работать также двигателем, если к обмотке ее якоря подвести постоянный ток от внешнего источника (см. рис. 2.5). При этом на проводники обмотки якоря будут действовать электромагнитные силы F и возникнет электромагнитный момент $M_{эм}$. Величина $M_{эм}$ определяется также как и для генератора. При достаточной величине $M_{эм}$ якорь машины придет во вращение и будет развивать

механическую мощность. Момент $M_{эм}$ при этом является движущим и действует в направлении вращения.

В режиме двигателя коллектор превращает потребляемый из внешней цепи постоянный ток I_a в переменный ток в обмотке якоря и работает, таким образом, в качестве механического инвертора тока.

Проводники обмотки якоря двигателя также вращаются в магнитном поле, и поэтому в обмотке якоря двигателя тоже индуцируется ЭДС E_a . Направление и величина этой ЭДС в двигателе такое же, как и в генераторе (см. рисунки 2.3, 2.5). Таким образом, в двигателе ЭДС якоря E_a направлена против тока I_a и приложенного к зажимам якоря напряжения U_a (поэтому её также называют *противо-ЭДС якоря*)

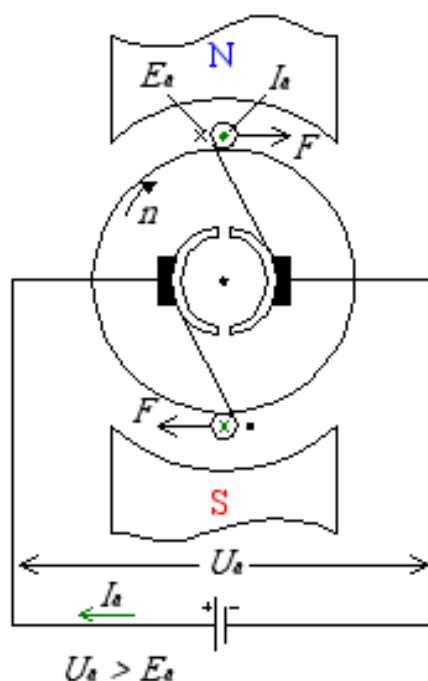


Рис. 2.5. Работа простейшей машины постоянного тока в режиме двигателя

Из вышесказанного следует, что для перехода машины постоянного тока из режима генератора в режим двигателя и обратно при неизменной полярности полюсов и щеток и при неизменном направлении вращения требуется *только изменение направления тока в обмотке якоря*. В генераторе напряжение на выводах якоря $U_a < E_a$, а в двигателе $U_a > E_a$.

Уравнение напряжения для цепи якоря двигателя можно записать

следующим образом:

$$U_a = E_a + r_a I_a. \quad (2.5)$$

Здесь r_a — полное сопротивление цепи якоря. Отсюда следует, что $I_a = \frac{U_a - E_a}{r_a}$,
(2.6)

При этом величина ЭДС $E_a = c_e \cdot \Phi \cdot n$ (2.7)

2.5. Скорость вращения и механические характеристики двигателей

Решая уравнение (2.5) совместно с (2.7) относительно n , находим уравнение скоростной характеристики $n = f(I_a)$ двигателя:

$$n = \frac{U_a - r_a I_a}{c_e \Phi}. \quad (2.8)$$

Величина электромагнитного момента согласно

$$(2.3) \quad M_{эм} = c_m \cdot \Phi \cdot I_a.$$

Определив отсюда значение I_a и подставив его в (2.8), получим уравнение механической характеристики $n = f(M)$ двигателя:

$$n = \frac{U_a}{c_e \Phi} - \frac{r_a M}{c_e c_m \Phi^2}, \quad (2.9)$$

которое определяет зависимость скорости вращения двигателя от развиваемого момента вращения.

Вид механической характеристики $n = f(M)$ при $U_a = const$ зависит от того, как с изменением нагрузки или M изменяется поток машины Φ , и различен для двигателей с различными способами возбуждения. Это же справедливо и для скоростных характеристик.

На рисунке 2.6 представлены схемы включения двигателей с различными типами возбуждения. Ниже рассмотрены их основные характеристики.

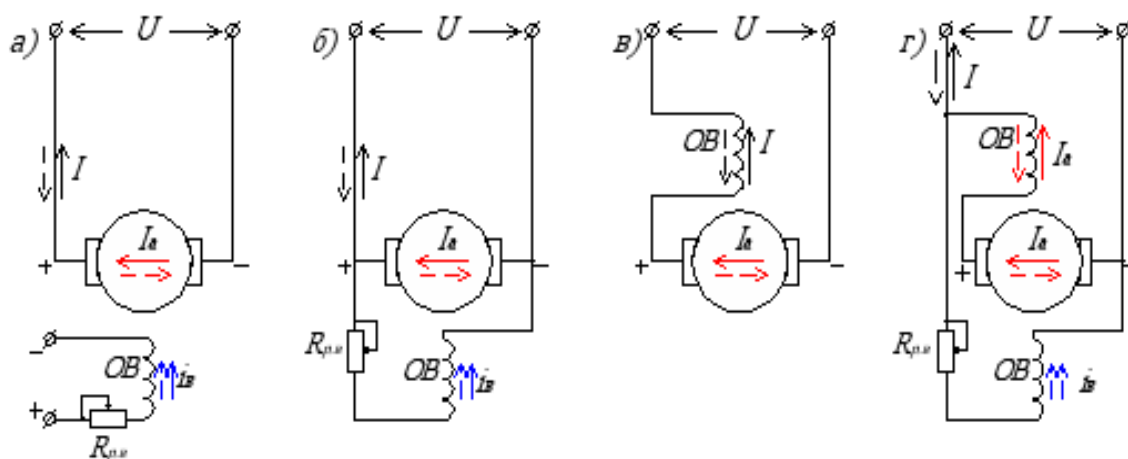


Рис.2.6. Схемы включения машин постоянного тока независимого(а), параллельного(б), последовательного (в) и смешанного (г) возбуждения (сплошные стрелки – направления токов в режиме генератора, пунктирные – в режиме двигателя)

2.5.1. Двигатели параллельного возбуждения

Скоростная и механическая характеристики двигателя определяются равенствами (2.8) и (2.9) при $U_a = const$ и $i_b = const$. При отсутствии дополнительного сопротивления в цепи якоря эти характеристики называются естественными. Если щетки находятся на геометрической нейтрали, при увеличении I_a поток Φ несколько уменьшится вследствие действия поперечной реакции якоря (т.е. магнитного потока, вызванного протекающим в обмотке якоря тока). Ввиду того, что изменение Φ относительно мало, механические характеристики $n = f(M)$ двигателя параллельного (и независимого) возбуждения, определяемые равенством (2.9), при $U_a = const$ и $i_b = const$ практически линейны и совпадают по виду с характеристиками $n = f(I_a)$ (рис. 2.7).

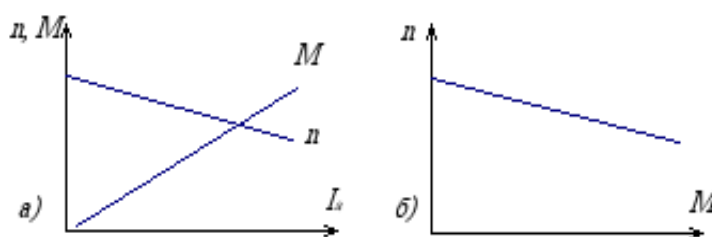


Рис. 2.7. Характеристики двигателей параллельного и независимого возбуждения

2.5.2. Двигатели последовательного возбуждения

В двигателях последовательного возбуждения ток якоря одновременно является также током возбуждения: $i_b = I_a = I$. Поэтому поток Φ изменяется в широких пределах и можно написать, что $\Phi = k_\phi I$.

Коэффициент пропорциональности k_ϕ в значительном диапазоне нагрузок при $I < I_{ном}$ является практически постоянным, и лишь при $I > (0.8 - 0.9)I_{ном}$ вследствие насыщения магнитной цепи k_ϕ начинает несколько уменьшаться.

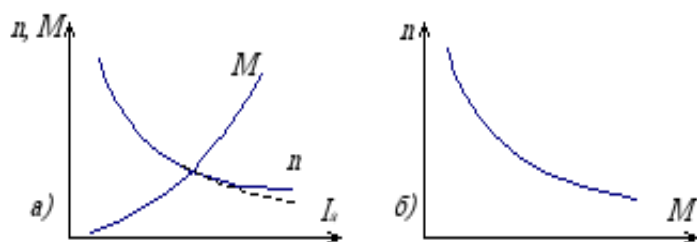


Рис. 2.8. Характеристики двигателей последовательного возбуждения

Скоростная характеристика двигателя, представленная на рис. 2.8, а является мягкой и имеет гиперболический характер. При $k_\phi = const$ вид кривой $n = f(I)$ показан штриховой линией. При малых I скорость двигателя становится недопустимо большой. Поэтому работа двигателей последовательного возбуждения, за исключением самых маленьких, на холостом ходу не допускается, а использование ременных передач неприемлемо.

Естественная механическая характеристика двигателя последовательного возбуждения $n = f(M)$ показана на рисунке 2.8, б.

Таким образом, у двигателей последовательного возбуждения при изменении момента нагрузки в широких пределах мощность изменяется в меньших пределах, чем у двигателей параллельного возбуждения. Поэтому для двигателей последовательного возбуждения менее опасны перегрузки по моменту. В связи с этим двигатели последовательного возбуждения имеют существенные преимущества в случае тяжелых условий пуска и изменения момента нагрузки в широких пределах.

2.5.3. Двигатели смешанного возбуждения

При встречном включении последовательной обмотки возбуждения двигателя смешанного возбуждения поток Φ_c увеличением нагрузки будет уменьшаться. Так как работа при этом обычно неустойчива (см. рис. 2.9, б), то двигатели с встречным включением последовательной обмотки возбуждения не применяются.

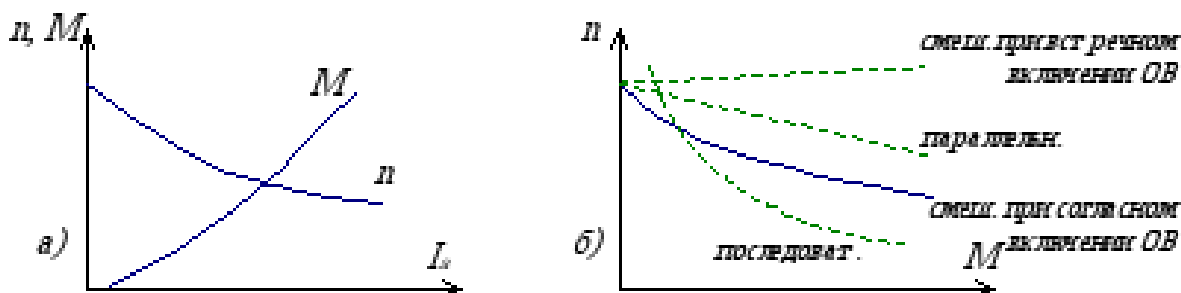


Рис. 2.9. Характеристики двигателей смешанного возбуждения при согласном включении последовательной обмотки (пунктиром показаны механические характеристики двигателей других типов возбуждения)

При согласном включении последовательной обмотки возбуждения поток Φ_c увеличением нагрузки возрастает. Поэтому такой двигатель смешанного возбуждения имеет более мягкую механическую характеристику по сравнению с двигателем параллельного возбуждения, но более жесткую по сравнению с двигателем последовательного возбуждения (см. рис. 9, б). В зависимости от назначения двигателя доля последовательной обмотки в создании полной намагничивающей силы возбуждения может меняться в широких пределах.

Скорость вращения двигателей смешанного возбуждения обычно регулируется так же, как и в двигателях параллельного возбуждения, хотя в принципе можно использовать также способы, применяемые в двигателях последовательного возбуждения.

Двигатели смешанного возбуждения применяются в условиях, когда требуется большой пусковой момент, быстрое ускорение при пуске и допустимы значительные изменения скорости вращения при изменении нагрузки. Эти двигатели используются также в случаях, когда момент нагрузки изменяется в широких пределах, так как при этом мощность двигателя снижается, как и у двигателя с последовательным возбуждением.

Характеристики стартерного электропривода с электродвигателями

постоянного тока последовательного или смешанного возбуждения хорошо согласуются со сложным характером нагрузки, создаваемой поршневым двигателем при пуске.

2.6. Основные неисправности стартеров и их признаки

Неисправности, возникающие в системе пуска, характеризуются следующими основными признаками: стартер включается, а затем самопроизвольно отключается; не включается тяговое реле стартера; тяговое реле включается, но якорь электродвигателя стартера не вращается; электродвигатель стартера не развивает необходимую мощность, электродвигатель стартера работает, а коленчатый вал двигателя не вращается; повышенный шум при включении стартера; стартер не выключается после пуска двигателя. Ниже дано описание возникновения неисправностей системы пуска.

Стартер включается, а затем отключается

При включении стартер включается, но реле стартера отключает цепь; слышен шум (треск) реле включения или тягового реле стартера.

Основные неисправности: неисправна или разряжена аккумуляторная батарея; низкая температура электролита в аккумуляторах батареи; окислились наконечники проводов и неплотно крепление их на выводах аккумуляторной батареи, клеммах тягового реле стартера и корпусе автомобиля; неисправно реле включения или тяговое реле стартера.

У неисправной или сильно разряженной батареи напряжение в момент включения стартера резко снижается, поэтому реле включения или тяговое реле стартера отключают цепь. При отключении цепи напряжение батареи повышается и реле вновь включается. Таким образом, стартер то включается, то выключается, что и вызывает характерный треск реле.

Понижение температуры электролита затрудняет проникновение его в активное вещество электродов аккумуляторов, поэтому напряжение батареи значительно уменьшается. Проверяется состояние аккумуляторной батареи и состояние контакта в соединениях наконечников стартерных проводов с выводами батареи и с клеммами тягового реле стартера измерением напряжения на выводах батарей на наконечниках стартерных проводов, а затем на клемме тягового реле и корпусе стартера. При исправной цепи замеряемое напряжение должно быть одинаковое. Затем те же измерения напряжения повторяют при включенном стартере. Стартер включают на 3-4 с и между включениями делают интервал в 15-20 с. При этом напряжение на выводах исправной и заряженной 12-вольтовой батареи должно быть не менее 10 В (для 24-вольтовой батареи - не менее 20 В).

Разница в показаниях вольтметра на клеммах батареи и клеммах стартера при хороших контактах в проверяемой электрической цепи не должна быть больше 1,5 В. При большей разнице следует хорошо зачистить и плотно закрепить все наконечники проводов, соединяющих батарею с корпусом и клеммами тягового реле стартера, а при необходимости произвести пайку наконечников или замену вышедшего из строя провода.

Не включается тяговое реле стартера

При попытке включения стартера он не включается и не прослушивается характерный щелчок срабатывания реле, не прослушивается стук деталей привода стартера, так как не происходит удара зубьев при введении шестерни стартера в зацепление с венцом маховика.

Основные неисправности: неисправен выключатель зажигания (стартера); обрыв цепи, соединяющей выключатель и реле включения; неисправно реле включения; неисправно реле блокировки; неисправен монтажный блок, неисправно тяговое реле, не отрегулировано реле включения.

Тяговое реле включается, но якорь электродвигателя стартера не вращается

При включении стартера слышен единичный характерный звук включения тягового реле, сливающийся со стуком шестерни привода стартера, входящей в зацепление с венцом маховика, а якорь электродвигателя стартера не вращает коленчатый вал двигателя.

Основные неисправности: сильно окислились или подгорели контакты тягового реле, неисправен электродвигатель стартера, повышено сопротивление в соединениях наконечников проводов на клеммах тягового реле стартера.

Проводником сечением 12—14 мм² соединяют две силовые клеммы (рис.2.10) тягового реле. Если при этом якорь электродвигателя стартера будет вращаться, то неисправно тяговое реле, если якорь не вращается – неисправен электродвигатель стартера.

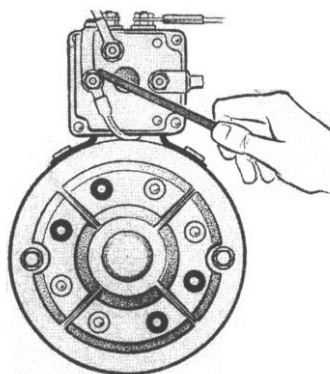


Рис. 2.10. Проверка электродвигателя стартера

Если же электродвигатель исправен, разбирают тяговое реле и зачищают окисленные и подгоревшие поверхности торцов головок контактных болтов и диска, (или контактной пластины) напильником или шлифовальной шкуркой, а затем шлифуют. При сильном износе головок болтов и диска (пластины) болты поворачивают на 180° вокруг оси, а диск (пластину) переворачивают другой стороной. При сборке тягового реле необходимо следить за тем, чтобы правильно была установлена клемма втягивающей обмотки.

Электродвигатель стартера не развивает необходимую мощность

При включении стартера коленчатый вал двигателя вращается слишком медленно, пуск двигателя затруднен.

Основные неисправности: повышение вязкости масла двигателя; низкая температура электролита, сильно разряжена или неисправна аккумуляторная батарея; большое сопротивление в соединениях крепления наконечников проводов на выводах батареи и клеммах тягового реле стартера и корпуса автомобиля; неисправно тяговое реле стартера; неисправен электродвигатель стартера.

Проверка состояния аккумуляторной батареи и соединений наконечников проводов описана выше. После проверки батареи и состояния цепи проверяют тяговое реле и электродвигатель стартера.

Электродвигатель стартера работает, а коленчатый вал двигателя не вращается

Основные неисправности: при включении стартера слышен шум вращения якоря электродвигателя, а коленчатый вал двигателя при этом не вращается вследствие неисправности привода шестерни стартера, поломки зубьев венца маховика или пробуксовки муфты свободного хода.

Проверить муфту свободного хода на пробуксовку можно на автомобиле. Для этого включается передача, а также рабочий тормоз, затем включается стартер. Если слышно, что якорь стартера вращается, то муфта свободного хода пробуксовывает.

Состояние зубьев венца маховика определяют внешним осмотром через люк или после снятия поддона картера маховика.

Повышенный шум при включении стартера

Обычно это скрежет шестерни привода, которая не входит в зацепление с венцом маховика.

Основные неисправности: нарушена регулировка момента включения шестерни привода, образование забоин на торцах зубьев венца маховика, корпус стартера неплотно закреплен на картере маховика, неисправен привод.

Забоины на зубьях венца маховика устраняют напильником и абразивными брусками. Болты крепления стартера к картеру маховика подтягивают. Неисправный привод монтируют или заменяют.

Стартер не выключается после пуска двигателя

После пуска двигателя и возвращения ключа выключателя зажигания (стартера) в 1-е рабочее положение якорь электродвигателя продолжает вращаться.

Основные неисправности: заедание втулки привода на валу якоря; сваривание контактов реле включения; сваривание контактного диска с контактными торцами болтов тягового реле; заедание в выключателе зажигания.

Заедание втулки привода на валу якоря происходит вследствие загрязнения червячной нарезки и образования налета на поверхности вала якоря от износа бронзового подшипника втулки привода.

Сваривание контактов реле включения возникает чаще всего из-за неправильной регулировки реле, когда слишком мал зазор между контактами и пружина якорька имеет слабое натяжение.

Сваривание рабочих поверхностей контактного диска и головок болтов тягового реле возникает при ослаблении возвратной пружины, отводящей диск тягового реле. Если замедляется выключение, то в точках контакта поверхностей возникает сильная электрическая дуга, вызывающая оплавление диска и торцов болтов.

В случае заедания в выключателе зажигания (стартера) выключение стартера производят принудительным поворотом ключа или отсоединением проводов от аккумуляторной батареи.

Если стартер не выключается, то после пуска двигателя маховик будет вращать муфту свободного хода привода стартера настолько быстро, что произойдет перегрев муфты, вследствие чего может произойти ее заклинивание. Тогда якорь будет вращаться с очень большой частотой, что приведет к отрыву проводников от пластин коллектора и распушению обмотки якоря.