Библиотека
ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

ВЫПУСК 444

А.Р.ДЕРО

НЕПОЛАДКИ В РАБОТЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

„ЭНЕРГИЯ"
ЛЕНИНГРАД 1976

6П2.1.081
Д 36
УДК 621.313.333.004.67

Редакционная коллегия

Я. М. Большам, А. И. Зевакин, Е. А. Каминский, С. А. Мандрыкин, С. П. Розанов, Ю. И. Рябцев, Ф. И. Синьчугов, А. Д. Смирнов, Б. А. Соколов, В. А. Семенов, П. И. Устянов

Рецензенты: Г. В. Матвеев, Л. И. Клейман

Д $\frac{30307-156}{051(01)-76}$ 36-76

© Издательство "Энергия", 1976

ПРЕДИСЛОВИЕ

Электродвигатель предназначен для преобразования электрической энергии в механическую с определенными характеристиками отдаваемой энергии: вращающим моментом и скоростью вращения.

Большинство неполадок проявляется при пуске электродвигателя и связано с несоответствием вращающего момента (мощности) или скорости вращения ротора номинальным значениям, указанным на паспортном щитке. В некоторых случаях причиной неполадок является неисправность машины, приводимой во вращение электродвигателем, или значительное отклонение напряжения от номинального. Неполадки, возникающие в процессе работы, обычно вызываются повреждениями сети или электродвигателя.

Неисправность часто приводит также к повышенному нагреванию, значительным вибрациям и увеличенному уровню шума электродвигателя. Для быстрого определения неисправности, вызвавшей неполадки в работе, следует учитывать все отклонения от нормального состояния электродвигателя; особенно большую помощь в этом случае может оказать наблюдение за температурой отдельных частей и шумом электродвигателя. Однако измерение температуры обмоток в условиях эксплуатации, и в особенности уровня шума, связано с большими трудностями. Иногда о повышенной температуре обмотки можно судить по запаху нагретой изоляции. Описание тона шума, характерного для различных неисправностей, не может быть произведено с достаточной определенностью, поэтому для своевременного выявления неисправности необходимы опыт и производственные навыки обслуживающего персонала.

При описании неполадок и причин, вызывающих эти неполадки, автор стремился показать связь между ними, обусловленную законами электротехники и механики. Включенные с этой целью во все главы необходимые сведения

о рабочих процессах в асинхронных машинах также помогут читателю в самостоятельном анализе отклонений от нормальной работы электродвигателя, не рассмотренных в этой брошюре.

Определение неисправности электродвигателя связано с пересоединением обмоток статора и ротора, включением приборов, пользованием различными источниками электроэнергии, проведением измерений. При выполнении перечисленных операций должны приниматься меры и использоваться средства, обеспечивающие электробезопасность обслуживающего и ремонтного персонала, занятого на этой работе. Электрический ток по сравнению с другими причинами травматизма обладает особенностями, увеличивающими его опасность; к их числу следует отнести внезапность поражения и невозможность обнаружения его на расстоянии органами чувств человека. Все пересоединения обмоток и изменения схемы должны выполняться только в отключенном от сети электродвигателе. Временное присоединение приборов должно проводиться острыми щупами с изолированными ручками и упорными выступами в месте перехода к металлическим иглам. Так как электродвигатель может иметь поврежденную изоляцию обмотки от магнитопровода, надо избегать прикосновения к корпусу включенного электродвигателя. В помещениях с повышенной электроопасностью следует применять напряжение для испытания до 36 В, а в особо опасных помещениях – до 12 В.

Замечания и пожелания по книге просьба направлять по адресу: 192041, Ленинград, Марсово поле, д. 1, Ленинградское отделение издательства "Энергия".

Автор

ГЛАВА ПЕРВАЯ

НЕДОСТАТОЧНЫЙ ВРАЩАЮЩИЙ МОМЕНТ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

1. Вращение ротора затруднено

Затрудненное вращение, препятствующее нормальному ускорению ротора, может быть вызвано большой нагрузкой электродвигателя или неисправностью его конструктивных частей. Большая нагрузка электродвигателя иногда является следствием неполадок в приводимой во вращение машине или передаче или же результатом ошибочных действий обслуживающего персонала. К первым из них относятся неисправности технологической машины: заклинивание ее, чрезмерное затягивание сальников (насоса), нарушение центровки валов электродвигателя и приводимой им во вращение машины, большое натяжение приводного ремня и пр. Ко второй группе причин повышенной нагрузки относятся: большая загрузка (камнедробилки, мельницы или мешалки), закрытие клапанов (компрессора) и т. д.

В перечисленных примерах вращающий момент электродвигателя может оказаться недостаточным для поворота вала машины, соединенной с электродвигателем, и для необходимого ускорения его. Токи в линейных проводах в этом случае одинаковы и соответствуют пусковому значению. Уровень шума обычный для пускового режима. При продолжительном включенном состоянии электродвигателя наблюдается повышенное общее нагревание обмоток статора и ротора. Низкое напряжение сети может еще больше затруднить пуск электродвигателя при увеличенной нагрузке. Для проверки предположения о большой нагрузке следует разъединить валы электродвигателя и приводимой им во вращение машины (если это возможно),

нормальная работа электродвигателя без нагрузки может косвенно подтвердить правильность сделанного предположения.

Неисправности электродвигателя, вызывающие затрудненное вращение ротора, обычно связаны со значительным местным уменьшением зазора между статором и ротором (см. § 25). К наиболее часто встречающимся неисправностям, которые могут привести к задеванию ротором статора, относятся: повреждение или большой износ подшипников, перекос подшипниковых щитов, смещение подшипниковых стоек, деформация вала. Пуск электродвигателя, имеющего неисправности перечисленных конструктивных частей, затруднен также без нагрузки; при этом величина тока в линейных проводах, присоединенных к зажимам статора, одинакова. Нагревание обмоток при продолжительном включенном состоянии электродвигателя значительное, вибрации и шум повышенные.

2. Пусковой момент электродвигателя отсутствует

Отсутствие у асинхронного двигателя начального пускового момента вызывается обычно электрическими причинами, к ним относятся: а) обрыв в сети или нарушение контактов в пусковой аппаратуре; б) обрыв в одной фазной обмотке статора при соединении его обмоток звездой или в двух фазных обмотках при соединении их треугольником; в) обрыв в двух или трех фазных цепях ротора.

Вращающий момент в асинхронном двигателе образуется в результате взаимодействия вращающегося магнитного потока и токов многофазной обмотки ротора. Наличие обрывов в цепи статора или ротора нарушает одно из необходимых условий образования вращающего момента и делает невозможным пуск электродвигателя. При сгорании одного предохранителя или обрыве провода сети напряжение на зажимах электродвигателя становится однофазным. В этом случае ток в фазных обмотках статора (двух при соединении звездой и трех при соединении треугольником) достигает амплитудного значения одновременно, а через четверть периода становится равным нулю. Таким образом, однофазный ток в обмотках статора создает пульсирующий магнитный поток, при котором

начальное значение пускового момента равно нулю, т. е. при неподвижном роторе вращающий момент отсутствует.

Если при работе электродвигателя сгорит предохранитель или оборвется провод сети, то ротор будет продолжать вращаться, при номинальной нагрузке электродвигателя скорость вращения ротора немного уменьшится, а ток в проводах значительно увеличится. Правильно установленная тепловая защита электродвигателя в этом

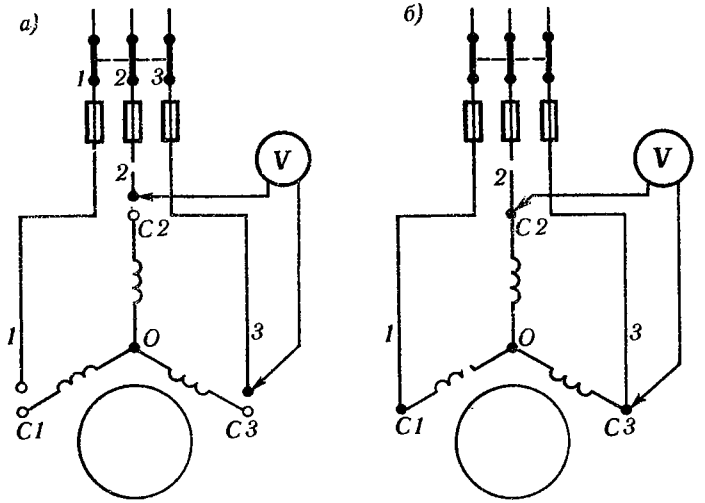


Рис. 1. Нахождение обрыва в линейном проводе измерением напряжения: *а* — между линейными проводами; *б* — на зажимах электродвигателя

случае должна отключить его от сети. Отсутствие необходимой защиты может привести к значительному повышению температуры обмотки, разрушению изоляции и витковым замыканиям.

Признаком сгорания предохранителя или обрыва провода является нарушение симметрии напряжения на зажимах электродвигателя. Для выявления поврежденного провода целесообразно произвести измерение напряжения между проводами сети без соединения этих проводов с зажимами электродвигателя. Если имеется повреждение в проводе 2–2 (рис. 1, а), то вольтметр, включаемый поочередно между точками 1 и 2, 2 и 3, показывает нуль, а между точками 1 и 3 – линейное напряжение.

Поврежденный провод может быть определен также измерением напряжения на зажимах включенного электродвигателя. В этом случае напряжение между зажимом С2, присоединенным к поврежденному проводу 2 (рис. 1,б), и зажимами С1 или С3 равно половине линейного, а между зажимами С1 и С3 равно линейному. Указанное соотношение напряжений между зажимами справедливо для соединения обмотки статора звездой и для соединения ее треугольником.

Измерение напряжения на зажимах электродвигателя следует производить при наибольшем сопротивлении реостата в цепи ротора с фазной обмоткой, а при короткозамкнутой обмотке необходимо ограничить время включения электродвигателя для уменьшения нагревания обмоток.

Если поврежденный провод определен, то необходимо проверить состояние предохранителей и исправность контактов пусковой аппаратуры. Следует иметь в виду, что указанная разница между напряжениями на зажимах электродвигателя может быть и при исправной цепи от зажимов статора до вторичной обмотки трансформатора, тогда необходимо искать повреждение на первичной стороне трансформатора.

Если линейное напряжение сети не превышает 220 В, то контроль напряжения можно выполнить лампой накаливания мощностью 40–60 Вт.

Поврежденный провод может быть выявлен также мегомметром или омметром. С этой целью при отключенном пускателе соединяют провода у зажимов электродвигателя С1, С2 и С3 в общую точку (рис. 2) и проверяют сопротивление линии между контактами 1–2, 1–3 и 2–3 пускателя. В случае обрыва провода 2–С2 сопротивление между контактами 1–2 и 2–3 будет большим, равным сопротивлению изоляции проводов, а сопротивление между контактами 1–3 будет близким к нулю (сопротивление двух последовательно соединенных проводов 1–С1 и С3–3).

Обрыв в одной из фазных обмоток статора при соединении их звездой переводит электродвигатель в однофазный режим со всеми рассмотренными ранее особенностями. Определение поврежденной фазной обмотки вольтметром без нарушения схемы присоединения электродвигателя к сети может быть выполнено только при доступной нулевой (общей) точке фазных обмоток. В этом

случае производят измерение фазного напряжения между зажимами С1–0, С2–0 и С3–0. При обрыве в фазной обмотке С2–0 (рис. 3, а) напряжение между зажимами С1–0 и С3–0 будет равно половине линейного напряжения, а между зажимами С2–0 значительно больше, примерно 0,87 линейного напряжения. При доступной и недоступной нулевой точке поврежденную фазную обмотку можно выя-

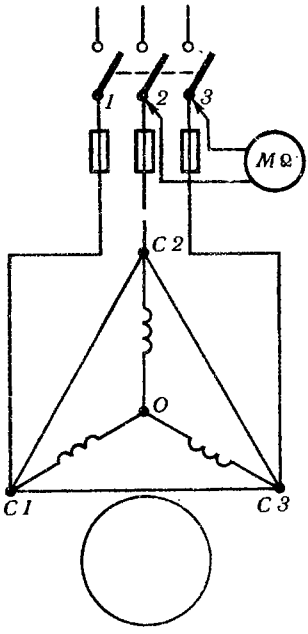


Рис. 2. Нахождение обрыва в линейном проводе мегомметром

вить измерением сопротивления между зажимами статора электродвигателя с помощью омметра или мегомметра. Если имеется обрыв в обмотке С2–0 (рис. 3, б), сопротивление между зажимами С1–С2 и С2–С3 будет большим, равным сопротивлению изоляции обмоток, а сопротивление между зажимами С1–С3 будет малым, равным удвоенному сопротивлению фазной обмотки. При этом способе определения поврежденной фазной обмотки можно не нарушать схему соединения электродвигателя с сетью, но измерение сопротивления необходимо производить при разомкнутом пускателе. Определение поврежденной фазной обмотки

можно также выполнить вольтметром или лампой накаливания, если изменить схему соединения электродвигателя с сетью так, чтобы поочередно подводить однофазное напряжение через вольтметр или лампу к двум зажимам электродвигателя. При наличии обрыва в фазной обмотке С2–О (рис. 3, в) стрелка вольтметра не будет отклоняться, а лампа не будет светиться, если напряжение подведено к зажимам С1–С2 или С2–С3, и стрелка вольтметра будет

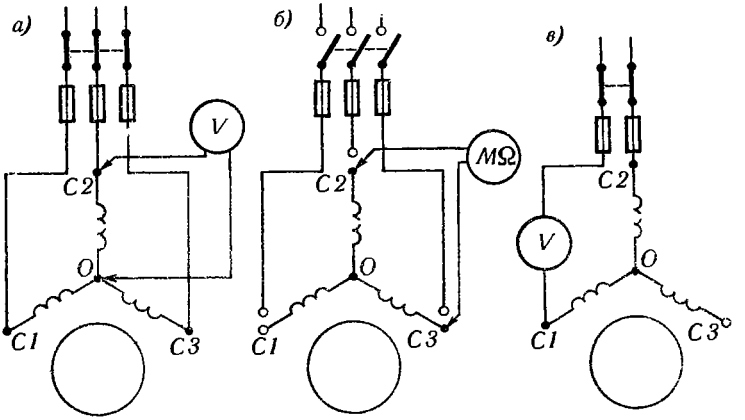


Рис. 3. Нахождение обрыва в фазной обмотке, соединенной звездой при нулевой точке. *а* — доступной, *б* и *в* — недоступной

отклоняться, а лампа светиться, если напряжение подведено к зажимам С1–С3 неповрежденных фазных обмоток.

При соединении фазных обмоток треугольником вращающийся магнитный поток создается и при обрыве в одной фазной обмотке, что обеспечивает наличие начального значения пускового момента электродвигателя. Однако работа при так называемом открытом треугольнике имеет некоторые особенности и будет рассмотрена в § 5.

Если фазная обмотка статора, имеющая обрыв, установлена, то для дальнейшего исследования необходима, как правило, разборка электродвигателя, чтобы получить доступ к соединениям катушек обмотки. Определение места повреждения можно выполнить, пользуясь вольтметром, лампой накаливания или омметром. К поврежденной фазной обмотке (рис. 4, а) подводят однофазное напряжение (можно через исправную фазную обмотку при недоступной нулевой точке – рис. 4, б) и измеряют напряжение на

соединениях катушек. Величина подведенного напряжения (при вынутом роторе) должна быть около 0,15 номинального. В случае обрыва в одной катушке вольтметр покажет на концах этой катушки полное напряжение сети (рис. 4, а, б), а на концах исправных катушек – нуль. При наличии обрывов в нескольких катушках напряжение, измеренное поочередно на концах каждой катушки, будет равно нулю, а напряжение на всех катушках равно напряжению сети.

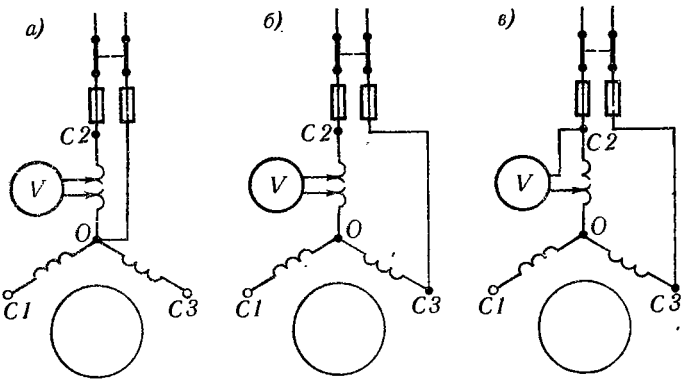


Рис. 4. Определение поврежденной катушечной группы: *а* — при включении в сеть одной фазиой обмотки, б — при включенни в сеть двух фазных обмоток, *в* — при общей точке сети и вольтметра

Для ускорения работы можно выявить сначала катушечную группу с поврежденной катушкой путем измерения напряжения на соединениях катушечных групп, а затем проверить напряжение на соединениях отдельных катушек этой катушечной группы.

Таким же образом для определения поврежденной катушечной группы может быть использована лампа накаливанння, при соединении проводов лампы с концами поврежденной катушечной группы лампа будет светиться.

Можно значительно облегчить проверку, если один провод от вольтметра или лампы вместе с проводом от сети подвести к зажиму поврежденной фазной обмотки, а вторым проводом от вольтметра поочередно касаться мест соединения катушечных групп, начиная с протнвоположного конца обмотки (рис. 4, в). При переносе места присоединения вольтметра через поврежденную катушечную группу

стрелка вольтметра перестанет отклоняться (а лампа не будет светиться). Второй вариант проверки удобнее, так как позволяет ограничиться переключением только одного провода вольтметра; кроме того, в случае наличия обрывов в нескольких катушечных группах этот способ дает возможность обнаружить первую поврежденную катушечную группу. Для выявления остальных поврежденных катушечных групп необходимо соединить проводом концы обнаруженной поврежденной катушечной группы и продолжить проверку; стрелка вольтметра перестанет отклоняться (а лампа перестанет светиться) при переносе провода от вольтметра через второе место обрыва.

Для включения вольтметра (или лампы) целесообразно пользоваться острыми щупами (иглами), которыми прокалывают изоляцию в нужных местах до соединения иглы с проводом обмотки. После проверки необходимо восстановить изоляцию в местах проколов.

Устанавливать место повреждения обмотки целесообразно в электродвигателях начиная с мощности 50 кВт, когда технически возможен и экономически оправдан ремонт обмотки. В электродвигателе меньшей мощности с проволочной обмоткой статора лобовые части обмотки имеют вид кольцевого жгута, в котором трудно и не всегда возможно обнаружить соединения между катушками. Поврежденная обмотка обычно не подвергается ремонту а заменяется новой. Только в отдельных случаях, когда состояние изоляции обмотки удовлетворительное и электродвигатель необходим для выполнения срочной работы, могут потребоваться определение места повреждения и ремонт обмотки электродвигателя меньшей мощности.

Для определения места обрыва в фазной обмотке может быть использован также мегомметр или омметр, при помощи которых измеряют сопротивление катушечных групп, а при возможности и отдельных катушек. Присоединение мегомметра (или омметра) производят щупами так же, как и вольтметра, в общих точках катушечных групп или катушек. Сопротивление целых катушечных групп очень мало, в то время как сопротивление катушечной группы, содержащей катушку с обрывом, будет большим, равным сопротивлению изоляции части обмотки. Применение мегомметра или омметра во многих случаях удобнее применения вольтметра (или лампы), так как не требует отдельного источника энергии.

При обрыве в двух или трех фазных цепях ротора симметрия линейных и фазных напряжений на зажимах статора не нарушается. Для того чтобы установить место обрыва, следует измерить напряжение на зажимах ротора включенного в сеть электродвигателя. Если вольтметр показывает одинаковое напряжение между зажимами обмотки ротора, то обрыв находится во внешней цепи ротора и необходимо проверить целость соединительных проводов и реостата. Если же напряжение между двумя парами зажимов ротора или между всеми зажимами равно нулю, то повреждение находится внутри электродвигателя. В этом случае необходимо обратить внимание на состояние скользящего контакта между щетками и кольцами, на токоотводы от щеткодержателей к зажимам ротора и на соединение обмотки с контактными кольцами.

Обрыв в цепи ротора можно установить также при помощи мегомметра или омметра. Целесообразно выполнить проверку обмотки ротора и внешней цепи раздельно, для этого необходимо отсоединить внешнюю цепь от зажимов ротора и поочередно измерить сопротивление между зажимами ротора, а затем проводов внешней цепи. Большое сопротивление указывает на наличие обрывов в проверяемой цепи.

Дальнейшую проверку обмотки ротора с целью выявления мест обрыва в ней производят так же, как проверку обмотки статора.

3. Вращающий момент отсутствует в некоторых положениях ротора

Эта неисправность характеризуется тем, что при включении электродвигателя в сеть ротор занимает устойчивое неподвижное положение. Возможны две причины этого явления: а) неблагоприятное соотношение между числами пазов статора и ротора для данного числа полюсов электродвигателя; б) задевание ротором статора вследствие одностороннего магнитного притяжения.

Первая причина вызывает, как правило, несколько устойчивых неподвижных положений ротора. Если установить ротор в другое положение и повторно включить электродвигатель в сеть, то в большинстве случаев происходит поворот ротора на небольшой угол до следующего устойчивого положения. Описанное явление наблюдается

в электродвигателе с короткозамкнутой обмоткой ротора, если с целью получения другой скорости вращения произведена замена обмотки статора и не соблюдено благоприятное соотношение чисел пазов статора и ротора для необходимого числа полюсов. В новых электродвигателях этот недостаток не встречается, так как при изготовлении их подбирают необходимое число пазов статора и ротора или выполняют скос пазов таким образом, чтобы исключить местные силы притяжения между статором и ротором, вызывающие устойчивое неподвижное положение ротора. Устранение этой причины устойчивого неподвижного положения ротора является трудной и не всегда выполнимой задачей. В некоторых случаях удается восстановить удовлетворительные пусковые характеристики электродвигателя, если разрезать в нескольких местах короткозамыкающие кольца или же уменьшить сечение отдельных стержней беличьей клетки ротора. Для более подробных рекомендаций необходимо получить консультации специалиста по электрическим машинам.

Устойчивое неподвижное положение ротора вследствие одностороннего магнитного притяжения, как правило, вызывается нарушением равномерности зазора между статором и ротором (см. § 25).

4. Уменьшенный вращающий момент при низкой скорости вращения ротора

Эта неисправность чаще всего имеет место в асинхронных двигателях с короткозамкнутой обмоткой ротора. Устойчивая скорость вращения при пуске электродвигателя под нагрузкой получается в несколько раз меньше номинальной. В большинстве случаев она составляет 1/7 часть номинальной скорости вращения.

При пуске электродвигателя без нагрузки ротор обычно достигает номинальной скорости вращения и последующая нагрузка двигателя не осложняет его работы.

Указанные затруднения при пуске электродвигателя под нагрузкой обусловлены наличием тормозных моментов, вызванных высшими гармоническими магнитного потока в зазоре между статором и ротором. Кроме первой (основной) гармонической магнитного потока в зазоре имеются и его более высокие нечетные гармонические. В статоре трехфазной обмотки при симметричном трехфазном напря-

жении на зажимах электродвигателя третья и кратные трем гармонические (девятая, пятнадцатая и т. д.) отсутствуют. Из высших гармонических наибольшее влияние на работу электродвигателя оказывает пятая и седьмая. Пятая и первая гармонические вращаются в противоположные стороны, поэтому создаваемые ими электромагнитные моменты имеют противоположные направления. На рис. 5 электромагнитный момент первой гармонической показан линией 1 и пятой гармонической – линией 3. Седьмая гармоническая вращается в ту же сторону, что и первая гармоническая, но со скоростью в семь раз мень-

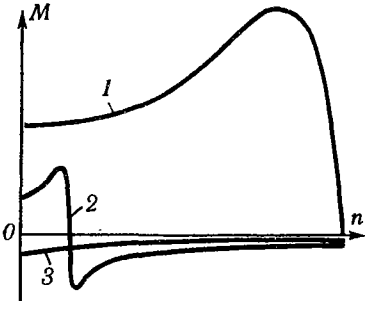


Рис. 5. Механические характеристики для гармонических составляющих магнитного потока

шей скорости вращения первой гармонической. Создаваемый ею электромагнитный момент показан линией 2.

Из приведенных механических характеристик для различных гармонических магнитного потока следует, что пятая гармоническая магнитного потока оказывает тормозное действие во всем диапазоне скоростей вращения ротора, а седьмая гармоническая увеличивает начальное значение пускового момента, но уменьшает вращающий момент электродвигателя в области скорости вращения ротора выше 1/7 номинальной. Эти тормозные моменты почти не влияют на величину максимального момента электродвигателя, так что нагрузка его при вращающемся роторе не нарушает нормальной работы.

Так же как и устойчивое неподвижное положение ротора, устойчивая низкая скорость вращения его обычно наблюдается после замены обмотки статора с целью получения другой скорости вращения. Иногда эта неисправность может быть устранена уменьшением шага об-

мотки статора. Шаг катушки обмотки в этом случае должен быть близким к 0,86 полюсного давления.

В электродвигателях с фазной обмоткой ротора в некоторых случаях наблюдается устойчивая скорость вращения ротора, равная половине номинальной. Эта неисправность вызывается появлением тормозного момента вследствие обрыва одной фазы ротора. Обрыв может быть в обмотке ротора, в проводе, соединяющем щетки с реостатом, и в реостате. Однако более вероятным является нарушение целости соединений отдельных элементов цепи ротора, поэтому прежде всего следует проверить все контакты, в том числе и скользящие, в электродвигателе и в реостате. Место обрыва цепи можно установить одним из описанных ранее способов.

5. Уменьшенный вращающий момент

Уменьшение вращающего момента может иметь место у исправного электродвигателя и в случае повреждения одной из фазных обмоток статора при их соединении треугольником. Причины уменьшения вращающего момента у исправного электродвигателя обычно связаны с пониженным напряжением сети и иногда с большим сопротивлением цепи ротора (при фазной обмотке). В этом случае значение тока в линейных проводах одинаково, а уровень шума пониженный. При пониженном напряжении и номинальной нагрузке электродвигателя наблюдается повышенное нагревание его обмотки.

Вращающий момент электродвигателя пропорционален магнитному потоку и току в обмотке ротора. Одновременно с уменьшением напряжения на зажимах электродвигателя уменьшается магнитный поток. Если скорость вращения ротора остается неизменной, то э.д.с. и ток в обмотке ротора также уменьшается. В этих условиях вращающий момент электродвигателя зависит от напряжения во второй степени. Механические характеристики асинхронного двигателя для двух значений напряжения показаны на рис. 6 (1 – для номинального, 2 – для уменьшенного в 1,73 раза).

Уменьшенное напряжение на обмотках электродвигателя может быть и при номинальном напряжении сети в случае ошибочного соединения фазных обмоток статора – звездой вместо треугольника. Например, если двигатель при соединении фазных обмоток треугольником предназначен

для включения в сеть 220 В, то при соединении фазных обмоток звездой напряжение на зажимах электродвигателя должно быть 380 В и напряжение сети 220 В будет в 1,73 раза меньше необходимого. В рассмотренном примере максимальный и пусковой моменты электродвигателя уменьшаются в 3 раза и электродвигатель может работать только при значительно уменьшенной нагрузке, так как максимальный вращающий момент становится меньше номинального момента.

Обычно электродвигатель работает в таких условиях, когда нагрузка остается постоянной или мало изменяется,

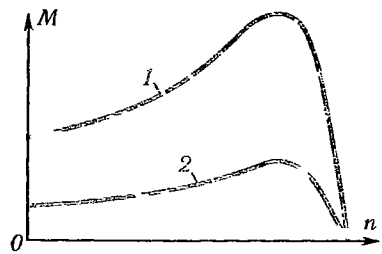


Рис. 6. Механические характеристики электродвигателя

и тогда для создания номинального вращающего момента при пониженном напряжении на зажимах электродвигателя требуется больший ток ротора, увеличение которого происходит за счет уменьшения скорости вращения ротора. Это уменьшение скорости вызывается понижением напряжения сети и зависит от сопротивления цепи ротора. При малом сопротивлении (например, замкнутая накоротко фазная обмотка ротора) уменьшение скорости вращения ротора незначительно, а при большом сопротивлении (например, беличья клетка ротора электродвигателя небольшой мощности) становится очень заметным.

Увеличенному току в обмотке ротора соответствует увеличенный ток в обмотке статора. С увеличением тока происходит интенсивное преобразование электрической энергии в тепловую в обмотках и значительное повышение их температуры. Таким образом, повышенное нагревание обмоток и уменьшенная скорость вращения ротора при номинальной нагрузке являются косвенными признаками пониженного напряжения на зажимах электродвигателя.

Пониженное напряжение может быть следствием общей большой нагрузки электрической сети. Проверка напряжения производится непосредственным изменением его вольтметром на зажимах электродвигателя. Пределы допускаемого отклонения напряжения указаны в § 7.

Если обмотка статора имеет шесть выводных концов, то по внешнему виду соединений фазных обмоток можно определить, звездой или треугольником выполнено соединение. В коробке зажимов выводы обмотки статора располагаются в два ряда, в одном ряду концы обмотки, в другом – их начала (рис. 7). Начала и концы отдельных фазных обмоток смещены относительно друг друга. Для соединения фазных обмоток звездой все зажимы нижнего ряда объединяют перемычками, а зажимы верхнего ряда включают в сеть (рис. 7, а). При соединении треугольником объединяют перемычками попарно зажимы верхнего и нижнего рядов и к общим точкам фазных обмоток подводят провода сети (рис. 7, б).

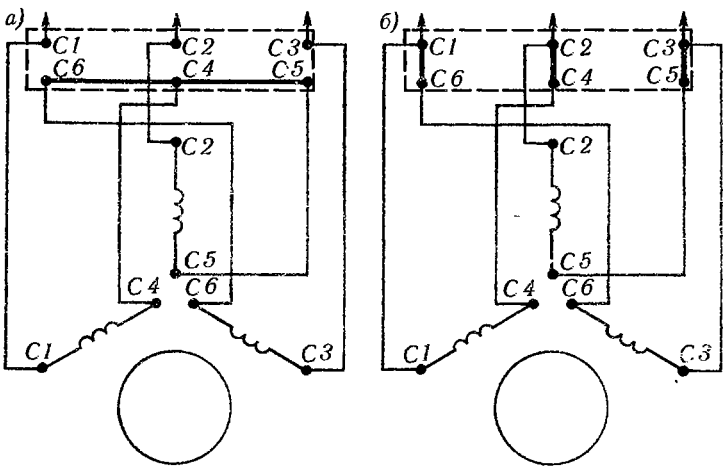


Рис. 7. Расположение выводов фазных обмоток статора и перемычек для соединения: *а* — звездой, *б* — треугольником

В некоторых электродвигателях выводы выполнены свободными гибкими проводами, пропущенными через два или три отверстия корпуса. В одном из двух отверстий размещаются начала фазных обмоток, в другом – их концы.

Для соединения звездой следует объединить выводы одного отверстия в общую точку, а для соединения треугольником необходимо установить принадлежность выводов отдельным фазным обмоткам и соединить попарно выводы из обоих отверстий. В каждом из трех отверстий размещаются начало и конец разных обмоток. Треугольник получается путем соединения попарно выводов каждого отверстия, а для соединения звездой необходимо установить принадлежность выводов отдельным фазным обмоткам и объединить в общую точку три вывода (по одному из каждого отверстия).

Для постоянной скорости вращения в устойчивой области механической характеристики (от нулевой нагрузки до максимального вращающего момента) при увеличенном активном сопротивлении обмотки ротора получается уменьшенный вращающий момент. Это объясняется тем, что в указанных условиях э.д.с. обмотки ротора остается постоянной и ток уменьшается. Если нагрузочный момент сохраняется постоянным, то при увеличении активного сопротивления цепи ротора должна уменьшаться скорость вращения ротора для сохранения тока неизменным в его обмотке.

Иногда эта закономерность используется для регулирования скорости вращения ротора с фазной обмоткой или для улучшения работы электропривода при кратковременных больших увеличениях нагрузки.

Если повышенное активное сопротивление цепи ротора не предусмотрено схемой электропривода, то вызываемое им уменьшение вращающего момента (или при постоянной нагрузке уменьшение скорости вращения ротора) снижает производительность приводимой электродвигателем машины.

Выявить причину уменьшения вращающего момента можно измерением сопротивления участка цепи ротора, состоящего из соединительных проводов между зажимами электродвигателя и реостатом и остающейся постоянно включенной частью реостата, или же измерением напряжения на этом участке роторной цепи. При измерении напряжения не требуется разъединять цепь ротора.

Для уменьшения сопротивления роторной цепи необходимо приблизить реостат к электродвигателю или увеличить сечение проводов между зажимами ротора и реостата.

Работа электродвигателя в случае обрыва в одной фазной обмотке статора при соединении треугольником сопровождается повышенным шумом и вибрацией. Величина тока в линейных проводах различна, ток в линейном проводе, присоединенном к неповрежденным обмоткам, значительно больше тока в других проводах. Так как энергия

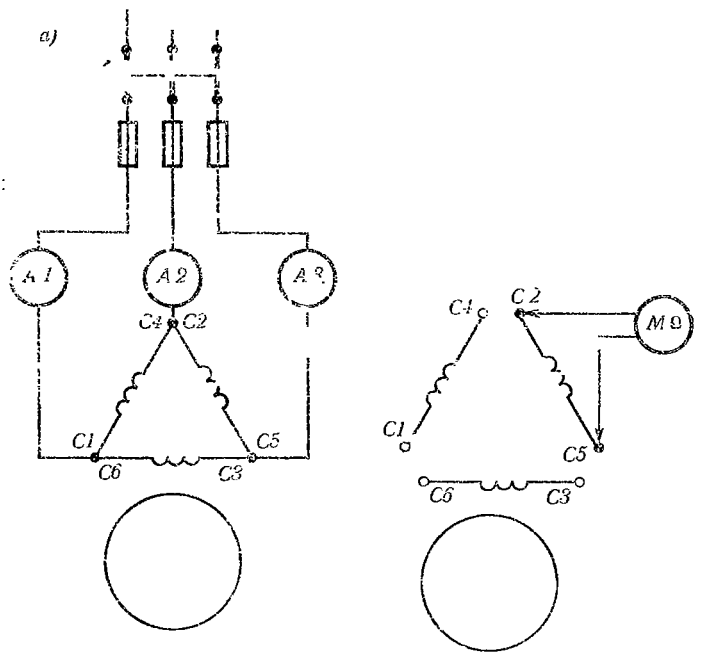


Рис. 8. Нахождение обрыва фазной обмотки при помощи: *а* — амперметра, *б* — мегомметра

подводится только к двум фазным обмоткам, то при номинальной нагрузке электродвигателя ток в неповрежденных фазных обмотках будет больше номинального, что вызовет повышенное нагревание этих обмоток. Температура поврежденной фазной обмотки ниже температуры двух других обмоток, и это может быть использовано для ее выявления, так же как различие тока в линейных проводах. На рис. 8, а показано включение электродвигателя в сеть при наличии обрыва в фазной обмотке С2–С5. В этом случае показания

амперметров А2 и А3 будет в 1,73 раза меньше, чем амперметра А1.

Проверку обмотки статора можно легко выполнить, если к зажимам электродвигателя выведены шесть концов фазных обмоток. Тогда путем проверки сопротивления отдельных фазных обмоток одним из известных способов, например мегомметром (рис. 8,б) или омметром, можно выявить поврежденную фазную обмотку. При наличии однофазного напряжения 220 В можно воспользоваться вольтметром или лампой накаливания. Если соединения фазных обмоток выполнены внутри электродвигателя, то обрыв можно обнаружить путем измерения сопротивления между зажимами. Из трех измерений две величины сопротивления будут одинаковы, а третья – между зажимами с поврежденной фазной обмоткой – вдвое больше. Можно также поочередно подводить через амперметр однофазное пониженное напряжение к двум из трех зажимов обмотки статора. Ток между зажимами с поврежденной обмоткой будет вдвое меньше тока между другими зажимами.

Если выявлена поврежденная фазная обмотка, то дальнейшее нахождение места обрыва производится, как указано в § 2 (см. рис. 4).

6. Вращающий момент электродвигателя пульсирующий

Этот недостаток сопровождается значительным шумом и вибрацией электродвигателя и может быть вызван неправильным включением обмотки статора, обрывом или коротким замыканием в цепи ротора. При неправильном соединении отдельных фазных обмоток величина тока в линейных проводах различна, иногда она превышает номинальное значение даже без нагрузки электродвигателя.

Неправильное соединение фазных обмоток чаще всего встречается в электродвигателях, имеющих шесть выводов при соединении их звездой или треугольником (в зависимости от напряжения сети). В процессе ремонта возможно неправильное внутреннее соединение фазных обмоток статора и при наличии только трех выводов (для одного линейного напряжения).

На рис. 9 показано правильное (а) и неправильное (в) соединение фазных обмоток статора звездой, а на рис. 10 – правильное (а) и неправильное (в) соединение треугольни-

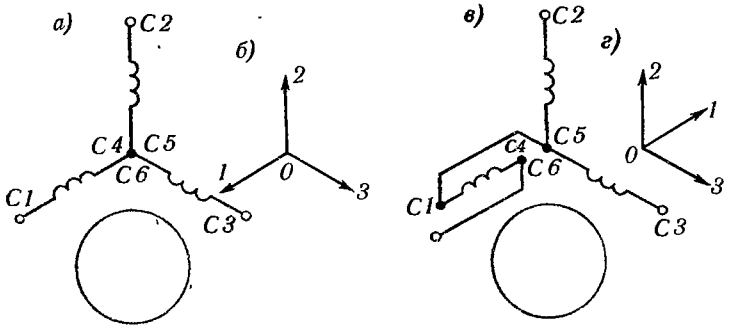


Рис. 9. Соединение фазных обмоток звездой: *а* — правильное включение обмоток, *б* — правильное расположение магнитных осей фазных обмоток, *в* — неправильное включение обмоток, *г* — неправильное расположение магнитных осей обмоток

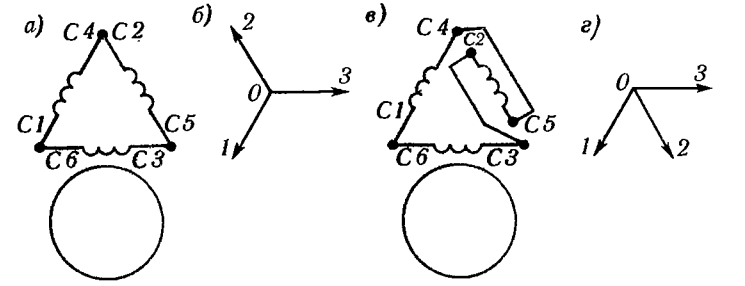


Рис. 10. Соединение фазных обмоток треугольником: *а* — правильное включение обмоток, б — правильное расположение магнитных осей фазных обмоток, *в* — неправильное включение обмоток, *г* — неправильное расположение магнитных осей обмоток

ком. Обозначения на этих схемах даны в соответствии с ГОСТ 183–74. Начало и конец первой фазной обмотки обозначены соответственно С1 и С4, второй фазной обмотки – С2 и С5 и третьей фазной обмотки – С3 и С6.

Для соединения фазных обмоток звездой обычно концы С4, С5 и С6 обмоток объединяют в общую точку, а начала С1, С2 и С3 присоединяют к сети (рис. 9, а). Направление магнитных осей фазных обмоток для этого случая показано на рис. 9, б. Можно также выполнить соединение звездой, объединяя в общую точку начала С1, С2, С3 обмоток и включая в сеть их концы С4, С5 и С6.

На рис. 9, в показано соединение обмоток звездой, когда фазная обмотка С1–С4 "перевернута", а на рис. 9, г – направление магнитных осей фазных обмоток для этого случая.

Для соединения фазных обмоток треугольником объединяют конец одной фазной обмотки с началом другой, например конец С4 первой обмотки с началом С2 второй обмотки, конец С5 второй обмотки с началом С3 третьей обмотки и конец С6 третьей обмотки с началом С1 первой обмотки (рис. 10, а). Направление магнитных осей фазных обмоток показано на рис. 10, б. Сеть присоединяют к общим точкам обмоток.

На рис. 10, в показано соединение обмоток треугольником, когда фазная обмотка С2–С5 "перевернута", а на рис. 10, г – направление магнитных осей фазных обмоток для этого случая.

Соединение треугольником может быть выполнено и при другом порядке объединения начал и концов фазных обмоток, например С1–С5, С2–С6 и С3–С4.

Для правильного включения фазных обмоток следует начала и концы соединить по схеме, приложенной к двигателю, либо по маркировке концов обмоток в соответствии с изложенным. Если эти данные отсутствуют, то правильность соединения фазных обмоток может быть проверена индуктивным методом или же путем нескольких пробных включений в сеть после соответствующих изменений соединения фазных обмоток.

Первый из этих способов является наиболее простым и удобным. Сначала необходимо разъединить все фазные обмотки и мегомметром, омметром или контрольной лампой определить принадлежность выводов отдельным фазным обмоткам. Одновременно следует произвольно

выбрать начала фазных обмоток и начало первой фазной обмотки обозначить Н1, конец ее – К1 и соответственно второй и третьей фазных обмоток Н2–К2 и Н3–К3. Затем к одной фазной обмотке присоединяют источник постоянного тока (рис. 11); так как активное сопротивление обмоток небольшое, то источником постоянного тока может служить аккумулятор напряжением 2–4 В. В момент включения или отключения рубильника в двух других фазных обмотках наводится э. д. с. Ее направление

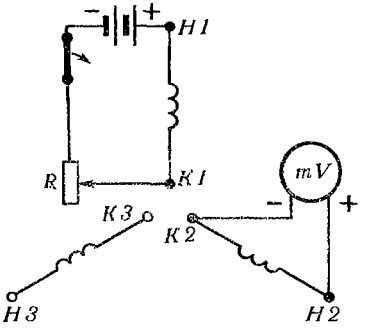
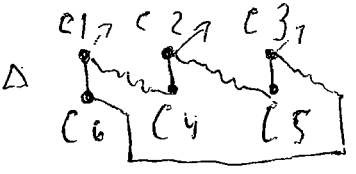


Рис. 11. Определение начал и концов фазных обмоток индуктивным методом



определяется полярностью концов фазной обмотки, присоединенной к источнику постоянного тока, и производимой операцией – включением или отключением рубильника. Если к принятому началу Н1 первой фазной обмотки присоединяется плюс аккумулятора, то при отключении рубильника на соответствующих началах двух других обмоток получается также плюс. Таким образом, пользуясь милливольтметром, можно установить начала и концы двух других фазных обмоток в соответствии с принятым началом и концом первой фазной обмотки. При очень большом отклонении стрелки милливольтметра необходимо последовательно с фазной обмоткой включить реостат R для уменьшения тока. После того как установлены начала и концы фазных обмоток, целесообразно произвести четкую маркировку их в соответствии с ГОСТ 183–74.

При методе пробных включений двигателя в сеть сначала также нужно установить принадлежность выводов отдельным фазным обмоткам и сделать условные обозначения начал и концов этих обмоток. Для уменьшения

нагревания электродвигателя целесообразно включать его на пониженное напряжение. Иногда можно воспользоваться возможностью соединения фазных обмоток статора звездой, если напряжение сети соответствует соединению обмоток треугольником. Таким образом, можно соединить в общую точку условные концы К1, К2 и К3 фазных обмоток (рис. 12, а), а условные начала Н1, Н2 и Н3 этих обмоток включить в сеть. Если при таком включении наблюдается описанная в начале параграфа неисправность электродвигателя, то равновероятны три варианта расположения магнитных осей обмоток (рис. 12, б). В этом случае поочередно меняют местами выводы фазных обмоток, пока не будет обеспечен нормальный пуск электродвигателя и одинаковые значения тока в линейных проводах. При этом соединении в общей точке находятся все действительные начала (или концы) фазных обмоток, что позволяет произвести маркировку их в соответствии с ГОСТ 183–74.

В электродвигателе с фазной обмоткой ротора проверка правильности соединения фазных обмоток статора может быть выполнена трансформаторным методом; предварительно должна быть установлена принадлежность выводов отдельным фазным обмоткам статора и выполнено соединение их звездой (рис. 12, а) по условной маркировке начал и концов, как описано ранее. После этого подают на обмотку ротора трехфазное напряжение, соответствующее указанному для ротора на паспортном щитке электродвигателя, и вольтметром измеряют напряжение между условными началами фазных обмоток (рис. 13). Если три измеренные напряжения различны, то необходимо отключить обмотку ротора от источника электроэнергии и поменять местами начало и конец фазной обмотки статора, у которой получаются два одинаковых (меньших) значения напряжения. После этого необходимо снова проверить напряжение между свободными концами фазных обмоток статора. Целесообразно повторить эти измерения для трех–четырех положений ротора. При правильном соединении фазных обмоток статора в звезду и исправных обмотках напряжение между установленными началами фазных обмоток С1, С2 и С3 будет одинаковым.

Если при пробном пуске подобрано такое соединение фазных обмоток, при котором разница между значениями тока в линейных проводах получается наименьшей, но эти токи неодинаковы и при пуске электродвигателя наблюда-

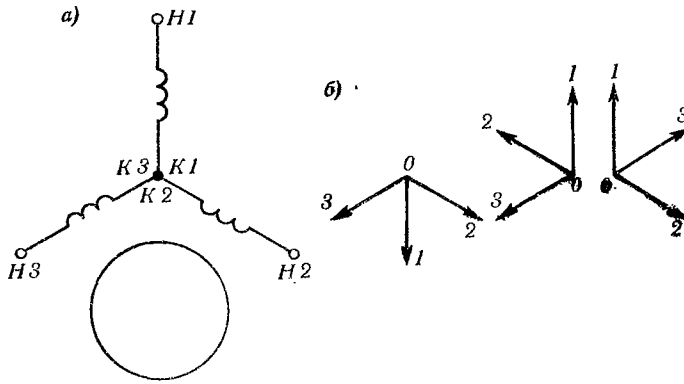


Рис. 12. Проверка правильности соединения фазных обмоток методом пробных включений: *а* — соединение обмоток звездой в соответствии с условным обозначением начал и концов обмоток, *б* — неправильное расположение магнитных осей фазных обмоток

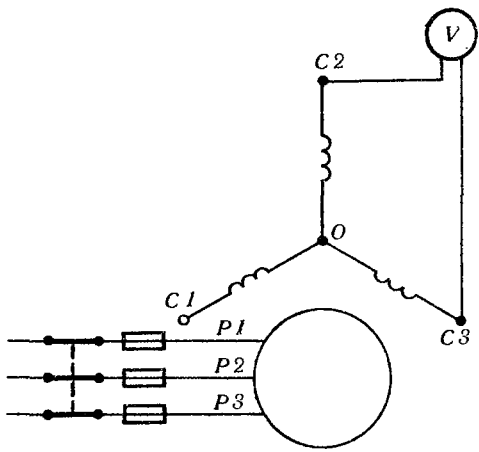


Рис. 13. Определение начал и концов фазных обмоток статора при включении в сеть обмотки ротора

ется повышенный уровень шума и вибраций, то следует предположить, что неправильно включена одна или несколько катушек фазной обмотки с наибольшим значением тока. На рис. 14 показана схема двухслойной обмотки, у которой катушечная группа Н1–К1 включена неправильно. Если у электродвигателя ротор с фазной обмоткой, то выявление указанной неисправности может быть выполнено трансформаторным методом. Для этого необходимо включить обмотку ротора в трехфазную сеть соответствующего

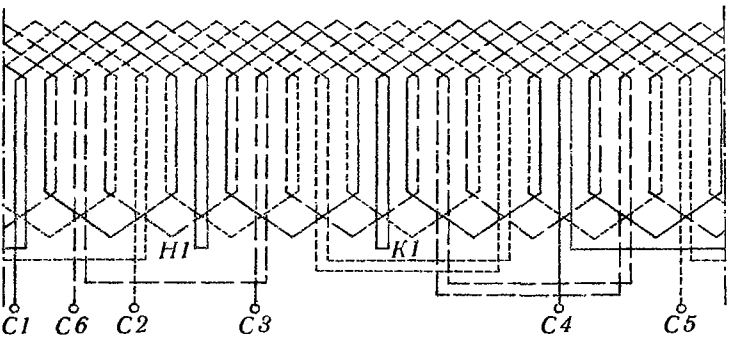


Рис. 14. Схема трехфазной двухслойной обмотки с неправильно включенной катушечной группой

напряжения (для ротора) и измерить фазные напряжения на обмотке статора; меньшее напряжение будет на фазной обмотке с неправильно включенными катушками.

При наличии параллельных ветвей в фазных обмотках неправильное включение группы катушек приводит к образованию короткозамкнутого контура (см. рис. 18, а), который значительно нагревается при включении электродвигателя в сеть.

Для выявления неправильно включенной катушечной группы можно произвести измерение напряжения на последовательно соединенных катушечных группах. Для этого обмотку статора включают в трехфазную сеть, к зажиму исследуемой фазной обмотки присоединяют один провод от вольтметра и вторым проводом касаются мест соединений катушечных групп (рис. 15). Показание вольтметра будет нарастать при увеличении количества правильно включенных катушечных групп, на которых измеряется напряжение,

и уменьшится при переходе через неправильно включенную катушечную группу. В большинстве случаев для выполнения этого исследования требуется разобрать электродвигатель, чтобы получить доступ к соединениям между катушечными группами. Описанный способ определения неправильно включенной катушечной группы основан на измерении напряжения на катушечных группах, уравновешивающего

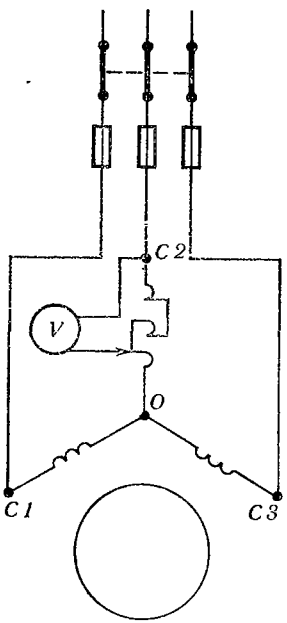


Рис. 15. Выявление неправильно включенной катушечной группы

э. д. с., наводимую в обмотке статора основным (вращающимся) магнитным потоком, поэтому ротор должен находиться внутри статора. При вынутом роторе основной магнитный поток будет значительно ослаблен. Фазная обмотка ротора должна быть разомкнута, а при короткозамкнутой обмотке ротора пониженное напряжение на зажимах статора должно быть таким, чтобы ток не превышал номинального значения; обычно величина этого напряжения составляет 0,3–0,4 номинального.

Если пульсация вращающего момента вызвана несимметрией обмотки ротора, то ток в линейных проводах также пульсирует. Частота пульсации тока статора соответствует

частоте скольжения. При увеличении нагрузки, следовательно и скольжения, частота пульсации тока и вращающего момента также увеличивается. Так как эта частота небольшая, то происходят колебания скорости вращения ротора даже при малой нагрузке электродвигателя. Колебания скорости вращения сопровождаются вибрацией и шумом низкого тона, частота которых также повышается с увеличением скольжения. Описанное явление может быть вызвано обрывом в стержнях или в одной из фаз обмотки ротора. В составной беличьей клетке нарушение контакта чаще всего происходит в местах соединения стержней с кольцами вследствие плохой пайки или сварки. Иногда наблюдается отрыв стержней от короткозамыкающих колец под действием центробежной силы или силы, возникающей из-за неодинакового температурного удлинения стержней. Разрыв стержней в пазовой части обычно встречается в литых беличьих клетках.

При фазной обмотке ротора нарушение контакта возможно в различных частях роторной цепи: а) в щеточном аппарате, б) в контактах реостата, в) в соединениях щеткодержателей с реостатом, г) в соединениях обмотки с контактными кольцами, д) в соединениях лобовых частей обмотки. В старых типах электродвигателей аварийным местом был механизм замыкания контактных колец и подъема щеток.

Для того чтобы убедиться в наличии плохого контакта или обрыва в цепи ротора электродвигателя небольшой мощности, необходимо включить одну фазную обмотку статора на пониженное напряжение и медленно поворачивать ротор; одновременно необходимо наблюдать за величиной тока в обмотке статора. При исправной обмотке ротора ток в линейном проводе будет почти постоянным по величине, небольшие его колебания вызываются наличием пазов статора и ротора. В случае плохого контакта или обрыва в цепи ротора ток будет изменяться в зависимости от положения ротора, полный цикл этого изменения зависит от количества полюсов электродвигателя.

Плохие контакты стержней беличьей клетки с короткозамыкающими кольцами или элементов в цепи ротора с фазной обмоткой могут быть обнаружены при тщательном осмотре мест соединения элементов обмотки.

Наличие обрыва стержня или плохого контакта стержня с короткозамыкающими кольцами может быть установлено

следующим образом. Ротор 1 немного выдвигают из статора 2 (рис. 16) и предохраняют от поворачивания, например путем установки небольших деревянных клиньев в зазоре между статором и ротором. Обмотку статора включают на пониженное напряжение 0,2–0,3 номинального и поочередно на каждый паз ротора накладывают тонкую стальную пластинку 3, касающуюся двух зубцов. Когда пластинка перекрывает пазы со стержнями без обрывов,

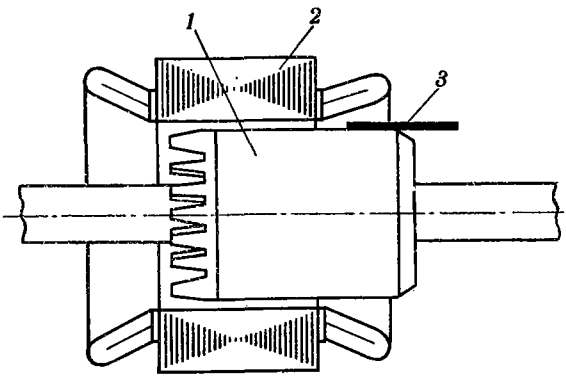


Рис. 16. Нахождение обрыва стержня обмотки ротора

она притягивается и вибрирует с частотой 100 Гц. Если пластинка перекрывает паз, в котором расположен поврежденный стержень, то притяжение и вибрация пластинки будут значительно слабее.

Плохой контакт в соединениях лобовых частей фазовой обмотки ротора можно определить путем измерения напряжения, так как при плохом контакте увеличивается его сопротивление. Для того чтобы обнаружить плохой контакт в хомутиках, необходимо измерить напряжение на каждом соединении лобовых частей обмотки. Постоянный ток можно подвести непосредственно к лобовым соединениям, как указано на рис. 17. Источником постоянного тока служит аккумулятор 1, величина тока регулируется реостатом 2 и измеряется амперметром А. Присоединение проводов от аккумулятора к стержням обмотки производится пружинными зажимами 3. Измерительная цепь состоит из милливольтметра mV и двух щупов 4. Величина тока устанавливается такой, чтобы отклонение

стрелки милливольтметра соответствовало 2/3 всей шкалы.

Для того чтобы ускорить процесс измерения, можно присоединить аккумулятор к кольцам ротора и производить измерения напряжения на хомутиках двух фазных обмоток. При этом отклонение стрелки милливольтметра для обмоток разных фаз будет происходить в противоположные стороны, и поэтому при переходе с одной обмотки на другую верхний

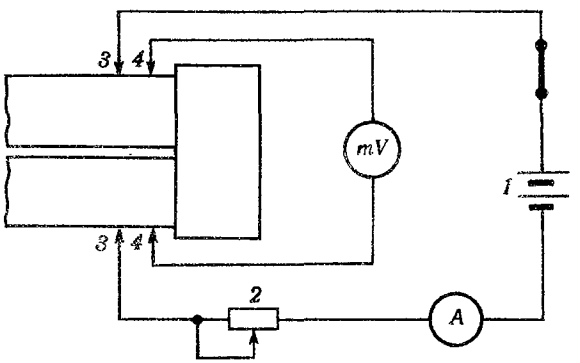


Рис. 17. Нахождение недоброкачественных паек хомутиков обмотки ротора

и нижний щуп нужно менять местами. После пересоединения одного из проводов аккумулятора к третьему кольцу можно измерить напряжение на лобовых соединениях третьей фазной обмотки. Места плохих контактов выявляются по повышенному напряжению на них, контакты могут считаться удовлетворительными, если напряжение на них не более 1,1 среднего значения напряжения на контактах.

В некоторых случаях несимметрия фазной обмотки ротора вызывается наличием короткозамкнутого контура. Если короткозамкнутый контур имеется только в одной фазной обмотке, то при разомкнутой обмотке ротора пусковой момент отсутствует и эта неисправность проявляется в местном нагревании короткозамкнутого контура. Если короткозамкнутый контур включает в себя две фазные обмотки ротора, то вращающий момент образуется и при разомкнутом пусковом реостате. В этом случае короткозамкнутый контур может быть образован как не-

посредственным замыканием проводников обмотки, так и в результате повреждения изоляции между фазными обмотками и магнитопроводом ротора. Непосредственный контакт между проводниками может быть между хомутиками лобовых соединений, между проводниками в пазу при укороченном шаге, а также между кольцами, щеткодержателями или соединительными проводами. Установить наличие короткозамкнутого контура в цепи ротора можно описанным ранее методом определения обрывов в цепи ротора. Для этого необходимо включить обмотку статора на однофазное пониженное напряжение, медленно поворачивать ротор и наблюдать за величиной тока в обмотке статора. При наличии в цепи ротора короткого замыкания будут наблюдаться значительные колебания тока в цепи ротора. Целость изоляции между обмоткой и магнитопроводом проверяют мегомметром. Если внешний осмотр и измерение сопротивления изоляции обмотки не позволяют установить место короткого замыкания, то следует проверить нагревание обмотки заторможенного ротора при включенном электродвигателе в сеть. Напряжение на зажимах электродвигателя не должно превышать половины номинального при разомкнутом реостате в цепи ротора. Короткозамкнутые контуры цепи ротора нагреваются значительно сильнее остальных частей обмотки; это можно обнаружить, если коснуться к ним рукой (при отключенной от сети обмотке статора).

Иногда ротор приходит во вращение при разомкнутом реостате и при исправной обмотке вследствие образования вращающего момента от гистерезиса и вихревых токов. Величина этого вращающего момента мала, но все же может оказаться достаточной для вращения ротора без нагрузки. При включенном электродвигателе в сеть никаких ненормальностей не наблюдается и при легком торможении ротор останавливается.

ПОВЫШЕННОЕ НАГРЕВАНИЕ ЧАСТЕЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

7. Повышенное общее нагревание статора и ротора

Причинами недопустимого общего повышения температуры обмоток статора и ротора или магнитопровода статора могут быть: а) большая нагрузка электродвигателя; б) несоответствие действительного режима работы номинальному; в) отклонение напряжения сети от номинального; г) ухудшение охлаждения электродвигателя.

Полезная мощность P_2 электродвигателя пропорциональна напряжению U, подведенному к зажимам статора, току I в присоединенных к этим зажимам проводах, коэффициенту полезного действия η, коэффициенту мощности $\cos\varphi$ и для трехфазного двигателя выражается формулой:

$$P_2 = \sqrt{3}\, U I \eta \cos\varphi \cdot 10^{-3},\ \text{кВт}. \qquad (1)$$

Из этой формулы следует, что большей нагрузке P_2 соответствует больший ток в обмотке статора. Одновременно возрастает ток и в обмотке ротора. Это вызывает значительное увеличение температуры обмоток, так как нагревание обмотки с током I, имеющей сопротивление r, пропорционально преобразуемой в ней электрической энергии I^2r в тепловую.

Проверка нагрузки электродвигателя может быть косвенно выполнена путем измерения тока в проводах, присоединенных к зажимам статора. Предварительно следует убедиться в том, что напряжение сети соответствует номинальному. Полученное значение тока необходимо сравнить с указанным на паспортном щитке электродви-

гателя. Обычно в трехфазном двигателе к зажимам статора выведены начала и концы фазных обмоток, в этом случае на паспортном щитке указываются два значения напряжения и два значения тока, причем меньшему значению напряжения (соединение фазных обмоток треугольником) соответствует большее значение тока и большему напряжению (соединение фазных обмоток звездой) – меньший ток. Проверить нагрузку электродвигателя можно по скорости вращения ротора. Уменьшение этой скорости при увеличении нагрузки небольшое, поэтому необходимо применять косвенные методы определения скорости, например измерением частоты тока в цепи ротора. Определенную таким образом скорость вращения необходимо сравнить с указанной на паспортном щитке. При этом должна быть уверенность, что частота изменения и величина напряжения сети соответствуют номинальным значениям, указанным на паспортном щитке электродвигателя.

Если установлено, что нагрузка электродвигателя превышает номинальную, то необходимо уменьшить нагрузку или установить новый электродвигатель большей мощности. В некоторых случаях можно уменьшить нагревание электродвигателя при повышенной нагрузке за счет усиления его охлаждения, так, например, в электродвигателях большой мощности можно применить независимую вентиляцию.

Наиболее чувствительной к нагреванию частью электродвигателя является электрическая изоляция, которая в значительной мере определяет надежность работы и срок службы электродвигателя.

Изоляционные материалы по нагревостойкости согласно ГОСТ 8865–70 делятся на семь классов и для каждого класса установлена предельная рабочая температура. В асинхронных двигателях наиболее часто применяются изоляционные материалы трех классов: А, Е и В, предельные рабочие температуры установлены для них соответственно 105, 120 и 130° С.

К классу А относятся текстильные материалы из хлопка, натурального шелка, целлюлозные электроизоляционные бумаги, картоны, фибра, древесина и другие. Эти материалы должны быть пропитаны лаками на основе натуральных смол или масляно–битумных смесей. К классу А относятся также лакоткани и лакочулки, лакобумага, изоляция проводов марки ПЭЛ, гетинакс, текстолит,

пластмассы с органическим наполнителем; при изготовлении их применяются термореактивные смолы фенольно-формальдегидного типа.

К классу Е относятся в основном новые синтетические материалы на основе полиэтилентерефталатных волокон и пленок, часто в сочетании с электрокартоном, целлюлозной бумагой и тканями, пропитанные лаками повышенной нагревостойкости – битумно-масляными и другими. К классу Е относятся также стеклолакоткани на масляных лаках, слоистые пластики на основе целлюлозных бумаг и тканей, пластмассы с органическим наполнителем на нагревостойких лаках и изоляция проводов марки ПЭВ.

К классу В относятся материалы на основе щипаной слюды, слюдинитов и слюдопластов, в том числе с бумажной или тканевой подложкой, асбестовые волокнистые материалы. Пропитка этих материалов должна производиться нагревостойкими битумно-масляными или масляно-смоляными лаками. К этому же классу изоляции относятся стеклолакоткани, пропитанные эпоксидными или масляно-битумными лаками, пластмассы с неорганическим наполнителем на синтетических смолах и другие материалы.

Под действием повышенной температуры электрические свойства изоляционных материалов изменяются незначительно, но резко уменьшается их механическая прочность и при вибрации электродвигателя изоляции обмоток легко разрушается. Так как измерение температуры изоляции связано с большими трудностями, то обычно определяют температуру проводников обмотки и магнитопровода, соприкасающихся с изоляцией. Поэтому ГОСТ 183–74 устанавливает предельные превышения температуры этих частей электрической машины над температурой газообразной охлаждающей среды при работе машины с постоянной номинальной нагрузкой. При этом принимаются температура газообразной охлаждающей среды +40°С и высота над уровнем моря не более 1000 м.

Указанные в табл. 1 предельные превышения температуры относятся к машинам, предназначенным для продолжительного номинального режима работы, для повторно-кратковременных номинальных режимов работы и для перемежающихся номинальных режимов работы. Предельные допускаемые превышения температуры частей электрических машин для кратковременного номинального режима работы могут быть выше указанных на 10°С.

Таблица 1

Предельные превышения температуры (в °С) отдельных частей асинхронных двигателей

Части электрических машин	Изоляционный материал класса					
	A		E		B	
	Измерение термометром	Измерение по изменению сопротивления	Измерение термометром	Измерение по изменению сопротивления	Измерение термометром	Измерение по изменению сопротивления
Обмотки переменного тока машин мощностью менее 5000 кВ·А или с длиной магнитопровода менее 1 м	50	60	65	75	70	80
Стержневые обмотки роторов асинхронных машин	65	65	80	80	90	90
Магнитопроводы и другие стальные части, соприкасающиеся с изолированными обмотками	60	–	75	–	80	–

Превышения температуры стержневых обмоток роторов асинхронных машин допускаются по согласованию с заказчиком.

Превышения температуры даны с учетом способа измерения температуры: по изменению сопротивления обмотки или термометром. Определение температуры обмотки по изменению ее сопротивления дает значение температуры, более близкое к действительной, чем измеренное термометром, поэтому допускаемое превышение температуры при первом способе больше, чем при втором.

Для определения температуры обмотки по изменению сопротивления ее необходимо произвести два измерения сопротивления обмотки: в холодном состоянии ($R_х$) при известной температуре $\vartheta_х$ и в нагретом состоянии ($R_г$) при определяемой температуре $\vartheta_г$; тогда температура медной обмотки в нагретом состоянии вычислится по формуле:

$$\vartheta_г = \frac{R_г - R_х}{R_х}(235 + \vartheta_х + \vartheta_х),\ \text{С}$$

Превышение температуры обмотки $\Delta\vartheta$ равно разности вычисленной температуры и измеренной температуры окружающего воздуха ϑ_0, т. е. $\Delta\vartheta = \vartheta_г - \vartheta_0$.

Измерение температуры обмотки или магнитопровода можно произвести ртутным или спиртовым термометром. Конец термометра, обернутый фольгой, прикладывают к месту измерения температуры. Поверх фольги накладывают кусок ваты для предохранения термометра от охлаждения потоком воздуха. Желательно устанавливать термометр вертикально. При измерении температуры стальных частей и обмоток с большим током рекомендуется применять спиртовой термометр, так как ртуть может дополнительно нагреться под влиянием вихревых токов и показание ртутного термометра не будет соответствовать действительной температуре.

Недопустимое повышение температуры частей электродвигателя может быть также при отклонении режима его работы от номинального. Если электродвигатель предназначен для повторно-кратковременного режима работы (например, в крановых установках), то увеличение продолжительности включения против номинальной или же увеличение частоты включений ведет к его повышенному нагреванию.

ГОСТ 183-74 устанавливает восемь номинальных режимов работы электрических машин, из них четыре основных режима и четыре рекомендуемых при необходимости уточнения условий работы электрических машин.

К основным номинальным режимам работы относятся:

а) продолжительный (условное обозначение S1);

б) кратковременный (S2) с длительностью периода неизменной номинальной нагрузки 10, 30, 60 и 90 мин;

в) повторно-кратковременный (S3) с относительной продолжительностью включения (ПВ) 15, 25, 40 и 60%, с продолжительностью одного цикла 10 мин (если нет других указаний);

г) перемежающийся (S6) с относительной продолжительностью нагрузки (ПН) 15, 25, 40 и 60%, с продолжительностью одного цикла 10 мин (если нет других указаний).

К рекомендуемым номинальным режимам работы относятся:

а) повторно-кратковременный с частыми пусками (S4) с ПВ 15, 25, 40 и 60%, число включений в час 30, 60, 120, 240 при коэффициенте инерции (*FI*) 1;2; 1,6; 2,5 и 4;

б) повторно-кратковременный с частыми пусками и электрическим торможением (S5) с ПВ 15, 25, 40 и 60%, с числом включений в час 30, 60, 120 и 240 при коэффициенте инерции (*FI*) 1,2; 1,6; 2,5; 4;

в) перемежающийся с частыми реверсами при электрическом торможении (S7) с числом реверсов в час 30, 60, 120 и 240 при коэффициенте инерции (*FI*) 1,2; 1,6; 1,5; и 4;

г) перемежающийся с двумя или более скоростями вращения (S8) с числом циклов в час 30, 60, 120 и 240 при коэффициенте инерции (*FI*) 1,2; 1,6; 2,5 и 4; продолжительность нагрузки (ПН) на каждой из скоростей вращения устанавливается по согласованию между потребителем и поставщиком.

При продолжительном номинальном режиме работы электрической машины неизменная номинальная нагрузка машины сохраняется столько времени, что превышения температуры всех частей электрической машины над неизменной температурой охлаждающей среды достигают практически установившихся значений.

При кратковременном номинальном режиме работы периоды неизменной номинальной нагрузки чередуются с периодами отключения машины. За период нагрузки превышения температуры всех частей машины при практически неизменной температуре охлаждающей среды не достигают установившихся значений, а за периоды остановки все части ее приходят в практически холодное состояние, т. е. температура любой части электрической машины отличается от температуры охлаждающей среды не более чем на $\pm 3^{\circ}$ С.

При повторно-кратковременном номинальном режиме работы кратковременные периоды неизменной номинальной нагрузки (рабочие периоды) чередуются с периодами отключения машины (паузы). Как за рабочий период, так и за время паузы превышения температуры отдельных частей электрической машины при практически неизменной температуре охлаждающей среды не достигают установившихся значений.

Повторно-кратковременный номинальный режим работы характеризуется относительной (в процентах) продолжительностью включения (ПВ), которая равна отношению длительности рабочего периода к длительности одного цикла (время работы и паузы). Пусковые потери

практически не оказывают влияния на превышения температуры отдельных частей машины.

При перемежающемся номинальном режиме работы кратковременные периоды неизменной номинальной нагрузки (рабочие периоды) чередуются с периодами холостого хода (паузы). Как за рабочий период, так и за время паузы превышения температуры отдельных частей машины при практически неизменной температуре охлаждающей среды не достигают практически установившихся значений. Перемежающийся номинальный режим работы характеризуется относительной (в процентах) продолжительностью нагрузки (ПН), которая равна отношению времени работы с номинальной нагрузкой к длительности одного цикла (время работы и время холостого хода).

При повторно-кратковременном номинальном режиме работы с частыми пусками пусковые потери оказывают значительное влияние на превышение температуры отдельных частей машины. Этот режим работы характеризуется относительной (в процентах) продолжительностью включения, числом пусков в час и коэффициентом инерции (FI), который равен отношению суммы приведенного к валу электродвигателя моменту инерции механизма и момента инерции ротора электродвигателя к моменту инерции ротора электродвигателя.

При повторно-кратковременном номинальном режиме работы с частыми пусками и электрическим торможением пусковые потери и потери электрического торможения оказывают существенное влияние на превышение температуры отдельных частей машины. Этот режим работы характеризуется относительной (в процентах) продолжительностью включения, числом пусков в час и коэффициентом инерции.

При перемежающемся номинальном режиме работы с частыми реверсами потери при реверсировании оказывают существенное влияние на превышение температуры отдельных частей электрической машины. Это режим работы характеризуется числом реверсов в час и коэффициентом инерции.

При перемежающемся номинальном режиме работы с двумя и более скоростями вращения потери при переходе с одной скорости вращения на другую оказывают существенное влияние на превышение температуры отдельных частей машины. Этот режим работы характеризуется

числом циклов в час, коэффициентом инерции и относительной (в процентах) продолжительностью нагрузки на отдельных ступенях скорости вращения.

Проверка кратковременного режима работы производится измерением продолжительности рабочего периода и определением превышения температуры частей электродвигателя в конце паузы. Продолжительность рабочего периода не должна превышать указанную на щитке электродвигателя и температура всех частей электродвигателя в начале рабочего периода должна быть практически равна температуре окружающей среды.

Проверка повторно-кратковременного режима работы производится измерением продолжительности рабочих периодов за определенный отрезок времени. Относительная продолжительность включения равна частному от деления продолжительности всех рабочих периодов на продолжительность времени наблюдения. Так же производится проверка перемежающегося режима работы.

Проверка рекомендуемых режимов работы связана со значительными трудностями, возникающими при определении коэффициента инерции (FI).

Если повышенное нагревание электродвигателя происходит в результате несоответствия действительного режима режиму, указанному на паспортном щитке, то необходимо заменить электродвигатель или усилить его охлаждение за счет устройства независимой вентиляции, особенно эффективной в электродвигателях, предназначенных для кратковременного, повторно-кратковременного и перемежающегося режимов работы.

Недопустимое превышение температуры обмоток и сердечника может иметь место и при значительном отклонении напряжения от номинального.

В § 5 было показано, что при уменьшении напряжения на зажимах электродвигателя уменьшается также вращающийся магнитный поток и для сохранения постоянным вращающего момента происходит увеличение тока в обмотке ротора и в обмотке статора. Это подтверждается формулой (1), если в этой формуле считать $P_2 = \text{const}$.

Повышенное напряжение на зажимах электродвигателя приводит к увеличению магнитного потока и соответственно к увеличению намагничивающей составляющей тока в обмотке статора. Увеличение магнитной индукции в магнитопроводе статора неизбежно приводит к возрастанию

магнитных потерь и повышению температуры этих частей машины, а увеличение тока вызывает повышение температуры обмотки статора. Ошибочное соединение фазных обмоток треугольником вместо соединения звездой вызывает увеличение фазного напряжения в 1,73 раза; при этом происходит настолько значительное возрастание намагничивающей составляющей тока, что даже при отсутствии нагрузки ток в обмотке статора обычно превышает номинальное значение.

Если наблюдается значительное общее повышенное нагревание обмоток или магнитопровода и нагрузка не превышает номинальную, то сначала следует проверить напряжение на зажимах электродвигателя и правильность соединения фазных обмоток статора. Если возможно, то следует установить необходимое напряжение переключателем на первичной стороне трансформатора. Допускаемые отклонения напряжения согласно ГОСТ 183–74 составляют –5% и +10% номинального. Увеличение и уменьшение частоты напряжения сети также вызывают повышенное нагревание электродвигателя при номинальной нагрузке, но это явление может иметь место только в автономных установках. Допускаемое отклонение частоты напряжения согласно ГОСТ 183–74 составляет ±5% номинальной. Если одновременно напряжение и частота не соответствуют номинальным значениям, то сумма их отклонений (без учета знака) не должна превышать 10% и каждое из отклонений не превышает допускаемого для соответствующей величины.

Если нагрузка электродвигателя не превышает номинальную, режим работы соответствует указанному на паспортном щитке, значения напряжения и его частоты находятся в допусковых пределах и все же наблюдается значительное общее нагревание обмоток и магнитопровода, то вероятная причина этого – недостоточное охлаждение электродвигателя. Малая эффективность вентиляции может быть вызвана: а) высокой температурой охлаждающего воздуха; б) плохой теплоотдачей охлаждаемых поверхностей; в) недостаточным количеством охлаждающего воздуха.

Высокая температура охлаждающего воздуха (больше 40° С) может быть следствием общей высокой температуры воздуха по технологическим или климатическим условиям или же малого объема и недостаточной вентиляции

помещения, в котором установлен электродвигатель. При неудачном размещении входных отверстий в электродвигатель может поступать воздух, нагретый охлаждаемым двигателем или приводимой им во вращение машиной (например, компрессором). Такое же явление может быть и при отсутствии полного разделения каналов для холодного и нагретого воздуха. При замкнутой системе вентиляции охлаждающий воздух может иметь высокую температуру при малом расходе воды через охладитель (менее 1 л/мин на 1 кВт потерь электродвигателя), или при температуре воды выше +30° С. Проверка температуры охлаждающего воздуха может быть выполнена термометром, установленным у входа воздуха в электродвигатель. При замкнутой системе вентиляции необходимо периодически проверять работу индикаторов температуры охлаждающего воздуха и положение задвижек.

Плохая теплоотдача охлаждаемых поверхностей может быть вызвана наличием слоя пыли, мелких волокон или стружек на обмотках и сердечниках и особенно в вентиляционных каналах. Увеличению толщины теплоизоляционного слоя способствует попадание в электродвигатель масла из подшипников или другой жидкости. Для предотвращения этой причины повышения температуры обмоток и сердечника необходимо периодически очищать каналы от пыли и продувать их сухим воздухом. Направление струи воздуха должно быть таким, чтобы пыль удалялась из электродвигателя, а не перемещалась и уплотнялась внутри него.

Уменьшенный расход охлаждающего воздуха может быть вызван увеличенным сопротивлением воздухопровода или же уменьшенным давлением, создаваемым вентилятором. Первая причина обычно появляется в эксплуатации вследствие уменьшения сечения каналов, вызванного отложением пыли и мелких волокон в них или засорения фильтров. Во вновь установленных электродвигателях входные отверстия могут быть частично закрыты фундаментом или воздухопроводы могут быть выполнены с большим количеством изменений сечения и поворотов. Уменьшенное давление воздуха, создаваемое вентилятором с наклонными лопастями, обычно вызывается неправильным направлением вращения; в этом случае необходимо заменить вентилятор, если не представляется возможности изменить направление вращения электродвигателя.

8. Местное нагревание обмотки статора

Значительное местное нагревание обмотки статора вызывается нарушением симметрии обмотки или напряжения сети. Симметрию напряжения проверяют вольтметром на зажимах электродвигателя, отклонение величины напряжения не должно превышать −5% и +10% номинального. В большинстве случаев несимметрия обмотки связана с наличием в ней замкнутых контуров для э. д. с., наводимой вращающимся магнитным потоком. Эти контуры получаются при неправильном включении отдельных катушек, если фазная обмотка имеет параллельные ветви (рис. 18, а) или (чаще) в результате коротких замыканий (рис. 18, б–г). Сопротивление контура при хорошем контакте в месте замыкания мало и по нему циркулирует большой ток даже при малой э. д. с., который сильно нагревает часть обмотки, образующую короткозамкнутый контур. Под влиянием нагревания изоляция темнеет, становится хрупкой и легко разрушается. При отсутствии тепловой защиты электродвигателя или при завышенном токе ее уставки область повреждения увеличивается, замыкание между витками одной катушки (рис. 18, б) переходит в замыкание между катушками одной или двух фазных обмоток непосредственно (рис. 18, в) или через магнитопровод статора (рис. 18, г), происходит оплавление провода и полное разрушение катушек.

Наличие короткозамкнутого контура в обмотке статора вызывает также повышенный уровень шума низкого тона и вибрацию электродвигателя. Ток в линейных проводах различный и скорость вращения ротора ниже номинальной даже при отсутствии нагрузки электродвигателя.

Нарушение симметрии обмотки статора может быть также следствием неправильного включения катушки или группы катушек (см. рис. 14) фазной обмотки (при отсутствии параллельных ветвей) или же неправильного соединения фазных обмоток (рис. 9, в и 10, в). Последняя неисправность достаточно определенно проявляется при пуске электродвигателя (см. § 6), и в этом случае нет необходимости исследовать нагревание фазных обмоток.

Основным признаком наличия короткозамкнутого контура является повышенное местное нагревание обмотки, которое легко можно обнаружить, прикасаясь рукой к ее лобовым частям (после остановки электродвигателя).

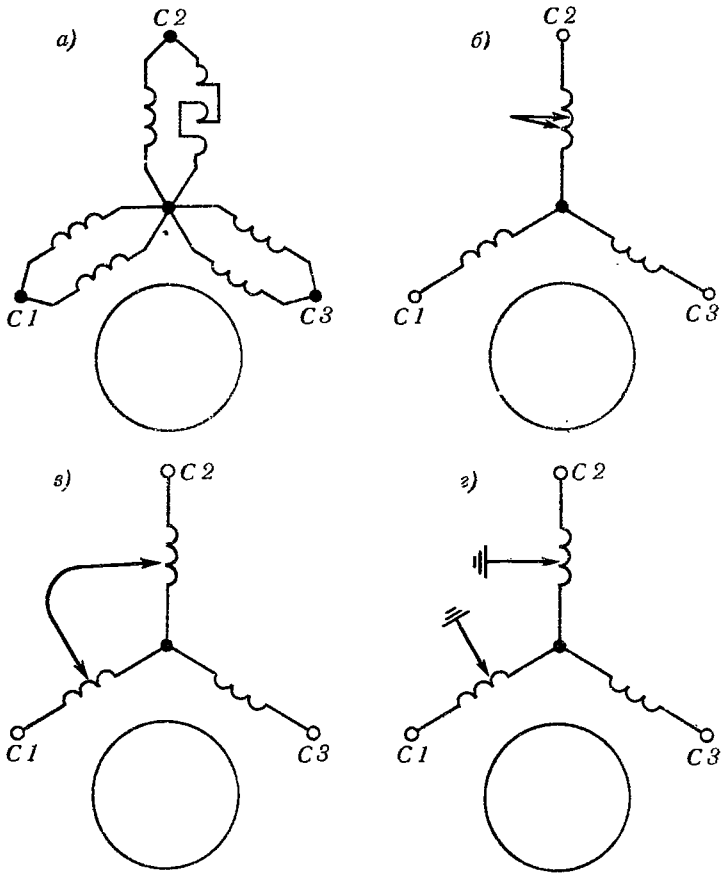


Рис. 18. Короткозамкнутые контуры в обмотке статора: *а* — замыкание при неправильно включенной катушке, *б* — замыкание между витками одной катушки, *в*, *г* — замыкание между фазными обмотками

Для нагревания обмотки необходимо включить электродвигатель в сеть на непродолжительное время. Если короткозамкнутый контур охватывает значительную часть обмотки статора, то большой ток в линейных проводах не позволяет осуществить включение электродвигателя в сеть; в этом случае необходимо понизить напряжение. Электродвигатель с фазной обмоткой ротора следует испытывать

при разомкнутой цепи ротора и пониженном вдвое напряжении на зажимах электродвигателя. Описанный способ определения короткозамкнутых контуров применим только для открытых и каплезащищенных электродвигателей.

Электродвигатели закрытого исполнения могут исследоваться только в разобранном виде, и в этом случае прежде всего следует обратить внимание на цвет изоляции катушек: потемневшая изоляция указывает на повышенное нагревание этих катушек. Для уверенности можно включить обмотку статора на пониженное напряжение и сравнить температуру катушек, прикасаясь рукой к доступным лобовым частям обмотки (после отключения обмотки от сети).

Очень часто характерный запах нагретой до высокой температуры изоляции и появление дыма позволяют безошибочно определить место короткого замыкания. При исследовании электродвигателя ротор должен занимать нормальное положение в статоре. Фазную обмотку ротора следует разомкнуть.

Фазная обмотка статора с короткозамкнутыми витками может быть обнаружена по увеличенному току в линейных проводах. При соединении обмоток звездой (рис. 19, а) показание амперметра *А2* будет больше, чем двух других амперметров, если короткозамкнутый контур находится в фазной обмотке С2–О. При соединении треугольником (рис. 19, б) показания амперметров А1 и А2 в линейных проводах, присоединенных к зажимам, между которыми находится фазная обмотка С1–С4 с короткозамкнутыми витками, будет больше, чем амперметра А3. Измерение тока следует производить при пониженном напряжении, фазная обмотка ротора должна быть разомкнута.

Выявление фазной обмотки, содержащей короткозамкнутые витки, может быть произведено измерением сопротивления фазных обмоток омметром, мостом или методом амперметра и вольтметра.

Фазная обмотка с короткозамкнутыми витками имеет меньшее сопротивление. Если соединение фазных обмоток выполнено внутри электродвигателя, то можно измерить значения сопротивления между зажимами электродвигателя. В случае соединения звездой наибольшим будет сопротивление между зажимами С1 и С3 (рис. 19, а), к которым присоединены неповрежденные фазные обмотки. Два других сопротивления будут одинаковы и меньше

первого. При соединении обмоток треугольником наименьшее сопротивление будет между зажимами С1 (С6) и С4 (С2) (рис. 19, б), между которыми находится фазная обмотка с короткозамкнутыми витками.

При использовании омметра или моста ток в измерительной цепи составляет несколько миллиампер, для него

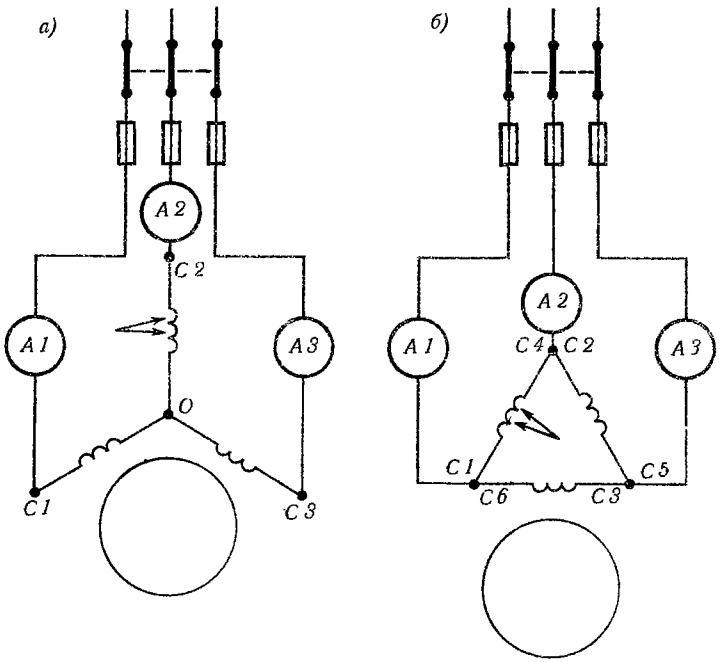


Рис. 19. Короткозамкнутые витки в фазных обмотках: *а* — при соединении звездой, *б* — при соединении треугольником

сопротивление контакта в месте замыкания может оказаться большим и тогда сопротивление поврежденной и целой фазных обмоток будет почти одинаковым. Более надежные результаты дает метод амперметра и вольтметра. В случае необходимости дальнейшее определение места повреждения обмотки производится измерением сопротивления или напряжения на катушечных группах и отдельных катушках, как описано в § 2.

Короткозамкнутый контур, включающий в себя катушки разных фаз, образуется из-за повреждения изоляции непосредственно между катушками (см. рис. 18, в) или между катушками и магнитопроводом статора (см. рис. 18, г). В этом случае при соединении фазных обмоток звездой (рис. 20, а) показания амперметров А1 и А2, включенных

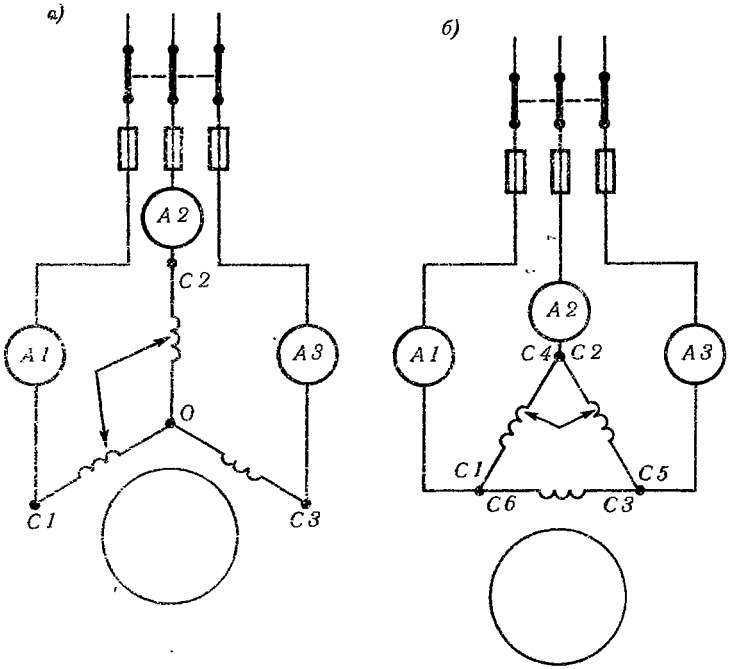


Рис. 20. Короткозамкнутые контуры, включающие в себя катушки двух фазных обмоток

в рассечку проводов, присоединенных к зажимам поврежденных обмоток, будут больше, чем амперметра А3. В случае соединения треугольником (рис. 20, б) показания амперметров А1 и А3 будут больше, чем амперметра А2.

Способы определения места повреждения изоляции проводников обмотки от сердечника статора описаны в §15.

9. Местное нагревание обмотки ротора

Местное нагревание вызывается несимметрией ротора вследствие наличия короткозамкнутых контуров в фазной обмотке или обрывов в цепи ротора.

Короткозамкнутый контур возникает при соприкосновении соседних хомутиков лобовых частей обмотки, при соединении слоев обмотки, при витковом замыкании. Если короткозамкнутый контур имеется только в одной фазной обмотке, то при разомкнутом реостате пусковой момент не возникает и при включении в сеть электродвигателя наблюдается повышенный уровень шума и вибраций, происходит нагревание короткозамкнутого контура. При наличии короткозамкнутых контуров в двух или трех фазных обмотках образуется вращающий момент, но уже при небольшой нагрузке электродвигателя скорость вращения ротора становится ниже номинальной.

Обрыв в одной фазной обмотке или в стержнях беличьей клетки также приводит к повышенному нагреванию исправной части обмотки.

Контакты между проводниками или между проводником и магнитопроводом ротора в местах короткого замыкания, вызванного повреждением изоляции, имеют повышенное сопротивление и поэтому нагреваются значительно сильнее остальных участков короткозамкнутого контура. Появление дыма может помочь обнаружить место повреждения изоляции. Повышенное сопротивление имеют также контакты схемы цепи ротора, выполненные недоброкачественно или поврежденные в процессе эксплуатации, и температура их значительно выше хороших контактов этой цепи.

Другие признаки и способы определения этих неисправностей указаны в § 6.

10. Местное нагревание магнитопровода статора

Местное нагревание, как правило, является следствием увеличенных магнитных потерь на отдельных участках сердечника, вызванных недоброкачественной сборкой его или повреждением в процессе эксплуатации. В некоторых случаях местное нагревание может быть вызвано трением ротора о статор или наличием короткозамкнутого контура в обмотке статора. Первая из указанных причин часто

приводит к замыканию между листами по внутренней поверхности статора, и в результате этого образуются пути для вихревых токов, дополнительно нагревающих магнитопровод. Для выявления участков магнитопровода с замкнутыми листами необходимо разобрать электродвигатель и тщательно осмотреть внутреннюю поверхность статора: в местах короткого замыкания листы покрыты тонким слоем окисла, по цвету которого (от желтого до синего) можно судить о температуре магнитопровода. У электродвигателей большой мощности замыкание листов магнитопровода, как правило, приводит к значительному его повреждению – расплавлению стальных листов, чаще всего в зубцовой зоне. В небольших электродвигателях вихревые токи недостаточны для оплавления листов, однако в этом случае изоляция между листами повреждается. Если первоначальной причиной нагревания является задевание ротора о статор, то трущиеся поверхности имеют характерный блеск, зубцы искривлены и имеют следы износа. При коротком замыкании в обмотке статора и особенно при повреждении изоляции между двумя фазными обмотками и сердечником (см. рис. 18, г) часто происходит оплавление провода и магнитопровода.

11. Повышенное нагревание соединений катушек и выводных зажимов

В настоящее время соединение катушек из круглого обмоточного провода осуществляют скруткой и оплавлением концов проводов с помощью графитового электрода. Этот способ дает прочное неразъемное соединение, но требует тщательного выполнения технологической операции. В процессе оплавления провод нагревается до высокой температуры и место скрутки окисляется, поэтому электрическим контактом служит только оплавленная часть проводов, малое сечение которой может быть причиной значительного нагревания соединения катушек.

Для создания хорошего электрического контакта соединяемых проводников применяют также пайку оловянно-свинцовым припоем одной из следующих марок: ПОС30, ПОС40 и ПОС60. Цифра в обозначении марки припоя соответствует содержанию олова в процентах; чем больше содержание олова, тем выше текучесть расплавленного припоя, поэтому при больших зазорах в контакте следует

применять припой ПОС30 и при малых зазорах – припой ПОС60. Температура начала плавления припоев перечисленных марок одинакова и составляет 183°С. Концы проводников должны быть предварительно покрыты слоем припоя (облужены) для создания надежного контакта по всей поверхности и для облегчения процесса пайки. Соединение может быть выполнено скруткой (для проводников круглого сечения) или с помощью хомутиков (для проводников прямоугольного сечения). Если допускается кратковременное значительное нагревание или возможно ухудшение охлаждения мест соединения катушек, то для повышения надежности рекомендуется применять припои медно-фосфористые марки ПМФ-7 или ПМФ-8.

В асинхронных электродвигателях кабельные наконечники ставятся только на выводных концах обмоток. Закрепление наконечника и создание контакта с проводом производят пайкой или опрессовкой (иногда сваркой). Повышенное нагревание наконечника в большинстве случаев происходит вследствие плохого контакта в резьбовом соединении, а иногда может быть вызвано недоброкачественной пайкой или опрессовкой.

Повышенное нагревание зажима электродвигателя является следствием загрязнения поверхности контакта или (в редких случаях) вызвано малыми размерами этой поверхности, определяемой сечением зажимного болта.

Рекомендуемые зажимные болты и допускаемый ток:

Болт	М4	М5	М6	М8	М10	М12	М14	М16	М18	М20
Наибольший ток, А	14	25	48	100	200	300	500	650	800	1000

Следствием большого нагревания контакта зажима электродвигателя может быть выплавление припоя из кабельного наконечника и обгорание пластины, на которой укреплены зажимы статора или ротора, если эта пластина изготовлена из сгораемого изоляционного материала. Не устраненное своевременно повреждение пластины зажимов приводит к замыканию между зажимами. Для повышения надежности контактов необходимо применять кабельные наконечники, болты, гайки и шайбы с металлическим антикоррозионным покрытием. С обеих сторон кабельного наконечника следует установить шайбы. Гайки должны быть плотно поджаты и для предотвращения их самоотвинчивания необходимо применять пружинные шайбы.

12. Значительное нагревание контактных колец и щеток

Причинами повышенного нагревания контактных колец и щеток могут быть: а) искрение; б) увеличенное контактное давление щеток на кольца; в) увеличенная плотность тока на контактной поверхности щеток; г) плохой контакт между щеткой и щеткодержателем; д) недостаточное охлаждение контактных колец и щеток (особенно в электродвигателях с закрытыми контактными кольцами). Для выявления причины повышенного нагревания следует тщательно обследовать состояние контактных колец и щеточного узла.

Превышение температуры контактных колец согласно ГОСТ 183–74 должно быть не более 60°С при изоляции класса А, не более 70°С при изоляции класса Е и не более 80°С при изоляции класса В. Если изоляция контактных колец и присоединенных к ним обмоток относится к разным классам, то допускаемое превышение температуры соответствует классу изоляции меньшей нагревостойкости.

13. Повышенное нагревание бандажей

В асинхронных двигателях бандажи применяются для крепления лобовых частей фазной обмотки ротора и находятся в области магнитных потоков рассеяния обмоток статора и ротора. Вследствие вращения потоков рассеяния относительно ротора происходит перемагничивание бандажа и возникают потери от вихревых токов и гистерезиса. Частота перемагничивания соответствует частоте скольжения и получается наибольшей при неподвижном роторе.

Величина потерь зависит от магнитной индукции в месте расположения бандажа, частоты перемагничивания, материала и конструкции бандажа.

Для бандажей применяется стальная магнитная, стальная немагнитная или бронзовая проволока. При немагнитной проволоке достигается уменьшение потока рассеяния. Предохранение от полного разматывания бандажа при обрыве проволоки достигается пайкой витков бандажа припоем ПОС30 по всей окружности, хотя это вызывает увеличение потерь от вихревых токов и нагревание бандажа.

Для уменьшения нагревания целесообразно заменить один широкий бандаж двумя узкими, а в электродвигателях с малой скоростью вращения ротора можно ограничиться пайкой проволоки только у скрепок. Держатели двух бандажей и скрепки у непропаянного полностью бандажа необходимо располагать на расстоянии двойного полюсного деления, при другом расстоянии между ними э. д. с. в держателях и скрепках от пересечения магнитным потоком замкнутого контура ABC*D* (рис. 21) будут складываться и создадут ток, дополнительно нагревающий бандажи.

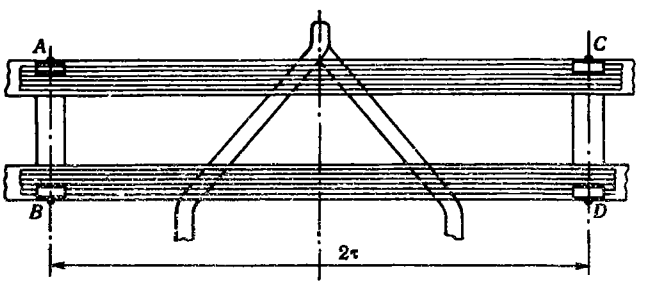


Рис. 21. Расположение держателей бандажей

При повышенном нагревании бандажа возможны нарушение пайки, разбрызгивание припоя и повреждение изоляции лобовых частей обмотки ротора. Допускаемая температура бандажа определяется нагревостойкостью изоляционного материала, на который уложен бандаж. Измерение температуры бандажа может быть выполнено термометром после остановки ротора. Если повышенное нагревание бандажа обнаружено у нового электродвигателя, то оно является следствием увеличенных потерь или недостаточного охлаждения. Для более точного определения причины нагревания требуется специальное исследование. Если увеличенное нагревание возникло после продолжительной эксплуатации электродвигателя, то прежде всего следует проверить условия охлаждения бандажа.

14. Повышенное нагревание подшипников

Допускаемая температура подшипника в значительной мере определяется нагревостойкостью смазки. В асинхронных двигателях используются главным образом подшип-

ники качения с густой смазкой и только в крупных машинах применяются подшипники скольжения с жидкой смазкой. Потери от трения в подшипниках качения значительно меньше, чем в подшипниках скольжения. Повышенное нагревание подшипников вызывается недоброкачественным изготовлением электродвигателя и неудовлетворительными условиями эксплуатации.

Для электрических машин общего применения предельная допускаемая температура подшипников качения согласно ГОСТ 183–74 составляет 100°С. Повышенное нагревание может быть следствием неправильных размеров частей электродвигателя, определяющих положение подшипника. Для свободного удлинения вала при нагревании должна быть предусмотрена возможность осевого смещения обоих шарикоподшипников (рис. 22, а) или одного из шарикоподшипников (рис. 22, б), если наружное кольцо второго подшипника закреплено. Если один из подшипников роликовый, то наружные кольца обоих подшипников закрепляются бортиками крышек, так как подшипник с цилиндрическими роликами допускает осевое смещение вала. Отсутствие осевого зазора между наружными кольцами обоих шарикоподшипников и крышками приводит к значительному увеличению трения в подшипниках и повышенному нагреванию их. Такое же действие оказывает и слишком тугая посадка наружного кольца подшипника в подшипниковом щите. Признаком этих недостатков изготовления является затрудненное вращение ротора, особенно в нагретом состоянии электродвигателя.

Трение в подшипниках увеличивается с возрастанием радиальной и осевой нагрузок. Большая радиальная нагрузка может быть вызвана неправильной центровкой электродвигателя и приводимой им во вращение машины или увеличенным натяжением ремня. Большая осевая нагрузка, как правило, обусловлена свойствами передачи (червячной, с коническими зубчатыми колесами и др.) или большой массой вращающихся частей при вертикальной установке электродвигателя. В процессе эксплуатации увеличение трения может произойти вследствие большого количества смазки, загрязнения подшипника пылью, повреждения рабочих поверхностей, слишком тугим уплотнением.

Предельная допускаемая температура подшипников скольжения согласно ГОСТ 183–74 составляет 80°С (при этом температура масла должна быть не более 65°С).

Повышенное нагревание подшипников скольжения обычно связано с нарушением жидкостного трения, которое может быть вызвано отклонением радиального зазора в подшипнике от оптимальной величины, неправильным выполнением

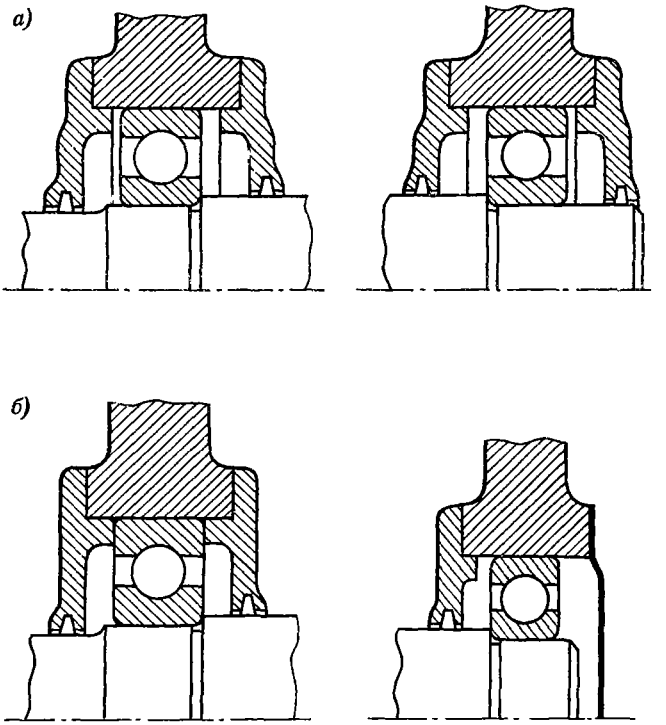


Рис. 22. Осевые зазоры: *а* — у двух подшипников, *б* — у одного подшипника

маслораспределительных каналов, недостаточной подачей масла, низкой вязкостью его.

Величина радиального зазора в подшипнике оказывает существенное влияние на размеры масляного клина и его подъемную силу. При малом зазоре затруднено образование масляного клина и малая толщина слоя масла вызывает повышенные потери от трения. При большом зазоре опорная поверхность масляного клина ограничивается небольшой дугой по окружности шейки вала и работа подшипника

становится неустойчивой. Образование масляного клина облегчается при повышенной скорости, поэтому чем больше скорость вращения вала и диаметр его шейки, тем большей получается величина оптимального зазора. В табл. 2 приведены рекомендуемые размеры зазора в неразъемном подшипнике в зависимости от диаметра шейки вала для различной скорости вращения.

Этой таблицей можно пользоваться для машин мощностью до 1000 кВт при скорости вращения до 1500 об/мин и для машин мощностью до 200 кВт при скорости вращения 3000 об/мин.

Таблица 2

Величина верхнего зазора между шейкой вала и втулкой подшипника (в мм)

Диаметр вала, мм	Скорость вращения, об/мин		
	до 1000	1000–1500	свыше 1500
18–30	0,040–0,093	0,060–0,130	0,140–0,280
30–50	0,050–0,112	0,075–0,160	0,170–0,340
50–80	0,065–0,135	0,095–0,195	0,200–0,400
80–120	0,080–0,160	0,120–0,235	0,230–0,460
120–180	0,100–0,195	0,150–0,285	0,260–0,530
180–260	0,120–0,225	0,180–0,330	0,300–0,600

В разъемном подшипнике с подачей масла кольцом величина оптимального зазора соответствует данным табл. 2 в случае, если внутренняя поверхность вкладышей имеет форму кругового цилиндра.

В настоящее время наиболее распространены два способа подачи масла к трущимся поверхностям – кольцом и насосом. Недостаточная подача масла при первом способе вызывается малой массой или неправильной формой кольца, низким уровнем масла в подшипнике, большой вязкостью масла. При втором способе уменьшение подачи масла может быть следствием малого сечения маслопровода (малые отверстия в уплотнительных прокладках фланцевых соединений), засорения фильтра, низкого уровня масла в баке.

При большой скорости шейки вала и значительной нагрузке расход масла, необходимый для охлаждения подшипника, не может быть обеспечен кольцом, и в этом случае применяют насос. Масло обычно подается к рабочим поверхностям подшипника через отверстие в верхнем вкладыше. Облегчение растекания масла достигается рас-

точкой средней части этого вкладыша по увеличенному радиусу; при этом зазор по вертикальному диаметру становится в 2–3 раза больше указанного в табл. 2, однако для уменьшения утечки масла необходимо сохранить у краев вкладыша пояски с нормальным зазором. Для со-

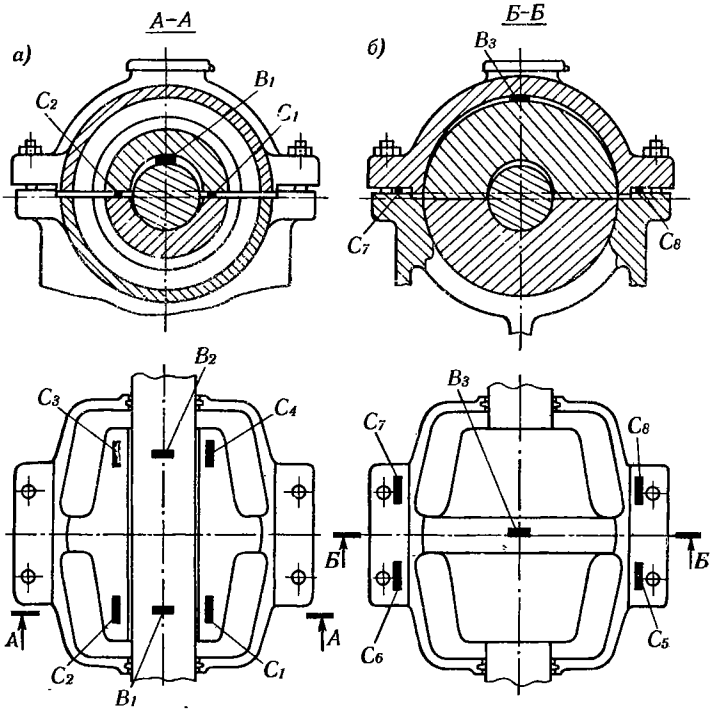


Рис. 23. Измерение вертикального зазора: *а* — между шейкой вала и вкладышем, *б* — между крышкой подшипника и вкладышем

хранения устойчивости масляного клина расточку нижнего вкладыша следует производить с учетом зазора по табл. 2.

Для измерения зазора в подшипнике с неразъемной втулкой используется набор калиброванных проволок. Зазор между верхним вкладышем и шейкой вала проверяют при помощи свинцовой проволоки диаметром 1 мм. Кусочки проволоки длиной 20–30 мм укладывают на плоскости разъема вкладышей и на шейку вала, как показано на рис. 23, а. Затем производят сборку подшипника и затяги-

вают болты. После разборки подшипника сплющенные проволоки В1, С1, С2, В2, С3 и С4 соответственно имеют толщину b_1, c_1, c_2, b_2, c_3 и c_4. Вертикальные зазоры a_1 и a_2 в плоскостях $A_1 - A_1$ и $A_2 - A_2$ вычисляются по формулам:

$$a_1 = b_1 - \frac{c_1 + c_2}{2} \quad \text{и} \quad a_2 = b_2 - \frac{c_3 + c_4}{2}.$$

Разность зазоров a_1 и a_2 не должна превышать 0,1 среднего значения зазора.

Плотность прилегания крышки подшипника к верхнему вкладышу проверяют также при помощи свинцовой проволоки. Кусочек проволоки B_3 укладывают на верхний вкладыш, остальные кусочки C_5, C_6, C_7 и C_8 – между крышкой подшипника и корпусом (рис. 23, б). После сборки и последующей разборки подшипника измеряют значения толщины сплющенных проволок b_3, c_5, c_6, c_7 и c_8. Размер зазора между верхним вкладышем и крышкой подшипника

$$a_3 = b_3 - \frac{c_5 + c_6 + c_7 + c_8}{4}.$$

Величина этого зазора не должна превышать 0,05 мм.

Причиной повышенного нагревания подшипников может также быть вибрация ротора, которая увеличивает потери в подшипниках.

Повышенное нагревание подшипника часто приводит к повреждению его рабочей поверхности, при котором дальнейшая работа электродвигателя становится невозможной. Характер повреждения зависит от материала рабочей поверхности подшипника. Баббитовая заливка начинает плавиться при температуре 240°С (баббиты марок Б-83, Б-16 и БН). Если расплавлена большая часть заливки, то происходит задевание ротора за статор. Бронзовые втулки и вкладыши могут выдерживать значительно большую температуру, однако в результате отсутствия смазки может произойти приварка вкладыша (или втулки) к шейке вала, ротор в этом случае затормаживается. При разборке такого электродвигателя приходится снимать подшипниковый щит, оставляя втулку на шейке вала.

Повреждение подшипника скольжения обычно происходит из-за невнимательности обслуживающего персонала, так как этой аварии предшествует значительное нагревание подшипника, которое может быть своевременно обнаружено.

ПОВРЕЖДЕНИЕ ИЗОЛЯЦИИ ТОКОВЕДУЩИХ ЧАСТЕЙ

15. Повреждение изоляции обмотки статора

Около 80% аварий электрических машин связано с повреждением обмотки статора. Высокая повреждаемость обмотки объясняется тяжелыми условиями работы и недостаточной стабильностью электрических свойств изоляционных материалов. В результате повреждения изоляции может произойти замыкание между обмоткой и магнитопроводом, замыкание между витками катушек или между фазными обмотками. Основной причиной повреждения изоляции является резкое снижение электрической прочности под влиянием увлажнения обмотки, загрязнения поверхности обмотки, попадания в электродвигатель металлической стружки, металлической и другой проводящей пыли, наличия в охлаждающем воздухе паров различных жидкостей, продолжительной работы электродвигателя при повышенной температуре обмотки, естественного старения изоляции.

Увлажнение обмотки может произойти вследствие продолжительного хранения электродвигателя в сыром неотапливаемом помещении. В установленном электродвигателе увлажнение может произойти при длительном неподвижном состоянии, особенно при повышенной влажности окружающего воздуха или при попадании воды непосредственно в электродвигатель.

Для предупреждения увлажнения обмотки во время хранения электродвигателя необходимы хорошая вентиляция складского помещения и умеренное отапливание в холодное время года. В периоды длительных остановок электродвигателя при сырой и туманной погоде следует закрывать задвижки воздушных каналов поступающего и

выходящего воздуха. При теплой сухой погоде все задвижки должны быть открыты.

Загрязнение обмотки электродвигателя происходит главным образом вследствие использования для охлаждения недостаточно чистого воздуха. Вместе с охлаждающим воздухом в электродвигатель могут попадать угольная и металлическая пыль, сажа, пары и капли различных жидкостей. Вследствие износа щеток и контактных колец образуется проводящая пыль, которая при встроенных контактных кольцах оседает на обмотках электродвигателя. Предотвращение загрязнения может быть достигнуто внимательным уходом за электродвигателем и тщательной очисткой охлаждающего воздуха. Необходимо периодически осматривать электродвигатель, очищать его от пыли и грязи и в случае необходимости производить мелкий ремонт изоляции.

При повышенном нагревании, а также в результате естественного старения изоляция в значительной мере утрачивает механическую прочность, становится хрупкой и гигроскопичной. При длительной работе машины крепления пазовых и лобовых частей обмотки ослабляются и вследствие вибрации их изоляция разрушается.

Изоляция обмотки может быть повреждена: из-за небрежной сборки и транспортировки электродвигателя, вследствие разрыва вентилятора или бандажа ротора, в результате задевания ротора за статор.

О состоянии изоляции можно судить по ее сопротивлению. Минимальное сопротивление изоляции зависит от напряжения U, В, электродвигателя и его мощности P, кВт. Сопротивление изоляции обмоток от магнитопровода и между разомкнутыми фазными обмотками при рабочей температуре электродвигателя должно быть

$$R \geqslant \frac{U}{1000+\frac{P}{100}}, \text{ МОм}, \qquad (2)$$

но не менее 0,5 МОм.

При температуре ниже рабочей это сопротивление необходимо удваивать на каждые 20° С (полные или неполные) разности между рабочей температурой и той температурой, для которой оно определяется.

Вычисленное по формуле сопротивление следует сравнивать с измеренным сопротивлением изоляции для посто-

янного тока. При переменном токе сказывается наличие емкости между проводниками обмотки и магнитопроводом, поэтому измеренное сопротивление для переменного тока нельзя сопоставлять с полученным по формуле (2). Обычно измерение сопротивления изоляции производится специальным прибором – мегомметром. Для обмоток электрических машин с номинальным напряжением до 500 В напряжение мегомметра должно быть 500 В, для обмоток электрических машин с номинальным напряжением свыше 500 В напряжение мегомметра 1000 В.

Если измеренное сопротивление изоляции обмотки меньше вычисленного по формуле (2), то необходимо произвести очистку и сушку обмотки. С этой целью разбирают электродвигатель и удаляют грязь с доступных поверхностей обмотки с помощью деревянных скребков и чистых тряпок, смоченных в керосине, бензине или четыреххлористом углероде. Если обмотка электродвигателя подвергалась действию морской воды, то ее необходимо промыть пресной водой для предотвращения выделения соли на поверхности изоляции. Сушку защищенных машин можно производить как в разобранном, так и в собранном виде, закрытые машины необходимо сушить в разобранном виде. Способы сушки зависят от степени увлажнения изоляции и от наличия источников нагрева. При сушке внешним нагревом используется горячий воздух или инфракрасные лучи. Сушку горячим воздухом проводят в сушильных печах, ящиках и камерах, снабженных паровыми или электрическими нагревателями. Сушильные камеры и ящики должны иметь два отверстия: внизу для входа холодного воздуха и вверху для выхода нагретого воздуха и водяных паров, образовавшихся при сушке. Температуру электродвигателя следует повышать постепенно во избежание появления механических напряжений и вспучивания изоляции. Температура воздуха не должна превышать 120°С при изоляции класса А и 150°С при изоляции класса В. В начале сушки необходимо измерять температуру обмотки и сопротивление изоляции через каждые 15–20 мин, затем интервал между измерениями можно увеличить до одного часа. Изменение температуры ϑ обмотки и сопротивления R изоляции в зависимости от времени t сушки показано на рис. 24. Процесс сушки считается законченным, когда достигнуто установившееся значение сопротивления.

При слабом увлажнении обмотки сушку можно производить за счет выделения тепловой энергии непосредственно в частях электродвигателя. Наиболее удобна сушка переменным током, когда обмотку статора включают на пониженное напряжение при заторможенном роторе; при этом фазная обмотка ротора должна быть замкнута накоротко. Ток в обмотке статора не должен превышать номинального значения. Если используется трехфазное

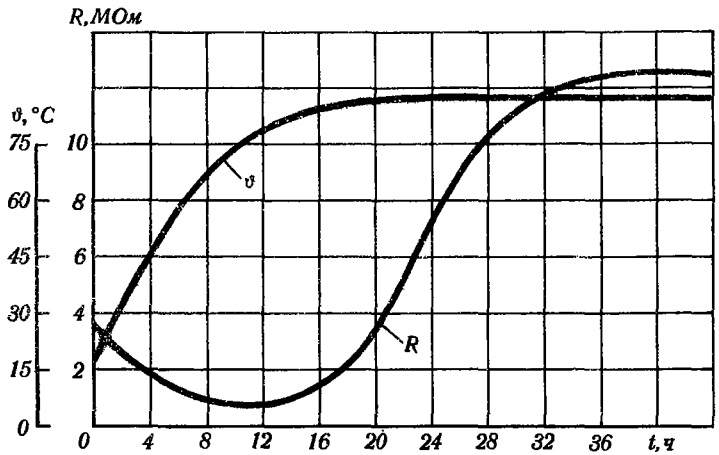


Рис. 24. Измененне температуры обмотки и сопротивления изоляции в зависимости от времени сушки

пониженное напряжение, то схему соединения обмоток статора можно не изменять, для однофазного напряжения целесообразно фазные обмотки соединять последовательно.

Для сушки может быть использована энергия потерь в магнитопроводе и корпусе электродвигателя. Для этого при вынутом роторе на статор укладывают временную намагничивающую обмотку, охватывающую магнитопровод и корпус. Нет необходимости распределять намагничивающую обмотку по всей окружности, она может быть сосредоточена на статоре в наиболее удобном месте. Количество витков в обмотке и ток в ней (сечение провода) подбираются таким образом, чтобы индукция в магнитопроводе составляла (0,8–1) Т в начале сушки и (0,5–0,6) Т в конце сушки. Для изменения индукции делают отводы от

обмотки или же регулируют ток в намагничивающей обмотке.

Методы выявления поврежденной изоляции между витками или между фазными обмотками были рассмотрены ранее, в § 8. Здесь излагаются методы определения места повреждения изоляции обмотки от магнитопровода. Прежде всего необходимо разъединить фазные обмотки и измерить сопротивление изоляции каждой фазной обмотки от магнитопровода или по крайней мере проверить целость изоляции

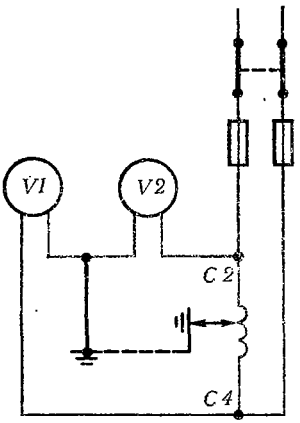


Рис. 25. Определение места повреждения изоляции двумя вольтметрами

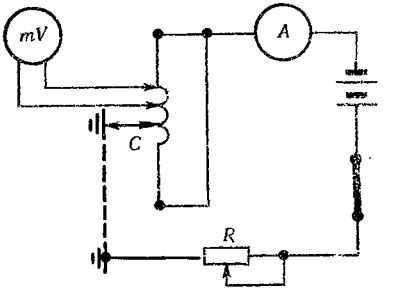


Рис. 26 Определение катушечной группы с поврежденной изоляцией

контрольной лампой. При этом удается выявить фазную обмотку с поврежденной изоляцией. Для определения места повреждения могут быть использованы различные методы: метод измерения напряжения между концами обмотки и магнитопроводом, метод определения направления тока в частях обмотки, метод деления обмотки на части и метод "прожигания". При первом методе на фазную обмотку с поврежденной изоляцией подается пониженное переменное или постоянное напряжение (рис. 25) и вольтметрами *V1* и *V2* измеряют напряжение между концами обмотки и магнитопроводом. По соотношению этих напряжений можно судить о положении места повреждения обмотки относительно ее концов. Этот метод не обеспечивает достаточной точности при малом сопротивлении обмотки. Второй метод заключается в том, что постоянное напря-

жение подается на объединенные в общую точку концы фазной обмотки и на магнитопровод (рис. 26). Для возможности регулирования и ограничения тока в цепь включают реостат R. Направления токов в обеих частях обмотки, разграниченных точкой С соединения с магнитопроводом, будут противоположными. Если поочередно касаться двумя проводами от милливольтметра концов каждой катушечной группы, то стрелка милливольтметра будет отклоняться в одном направлении до тех пор, пока провода от милливольтметра не будут присоединены к концам катушечной группы с поврежденной изоляцией. На концах следующих катушечных групп отклонение стрелки изменится на противоположное. У катушечной группы с поврежденной изоляцией отклонение стрелки будет зависеть от того, к какому из концов ближе место повреждения изоляции; кроме того, величина напряжения на концах этой катушечной группы будет меньше, чем на других катушечных группах, если повреждение изоляции не находится вблизи концов катушечной группы. Таким же образом производится дальнейшее определение места повреждения изоляции внутри катушечной группы. На рис. 27 показана группа двухслойной обмотки, состоящая из четырех катушек. Оставив без изменения схему включения фазной обмотки (рис. 26), измеряют напряжение между точками А–В, В–С, С– D и D –Е и наблюдают за направлением отклонения стрелки милливольтметра. Если изоляция повреждена в катушке В–С, то отклонение стрелки для точек А–В будет противоположно отклонению ее для точек С– D и D –Е.

О направлении тока в катушке можно судить по отклонению магнитной стрелки, располагаемой поочередно над каждым пазом с исследуемой обмоткой. При переходе через пазы, в которых расположена катушка с поврежденной изоляцией, происходит изменение направления отклонения магнитной стрелки в соответствии с изменением направления тока при включении обмотки по схеме на рис. 26. Для выполнения этого исследования электродвигатель должен быть разобран.

Перечисленные методы дают надежные результаты только в случае устойчивого контакта проводников обмотки с магнитипроводом.

Метод деления обмотки на части состоит в том, что фазную обмотку, имеющую соединение с магнитопроводом,

делят пополам путем распайки междукатушечных соединений и затем мегомметром или контрольной лампой определяют часть обмотки, имеющую соединение с магнитопроводом. Подобное деление продолжают до тех пор, пока не будет найдена катушка с поврежденной изоляцией.

Если фазную обмотку с поврежденной изоляцией и магнитопровод присоединить к источнику пониженного напря-

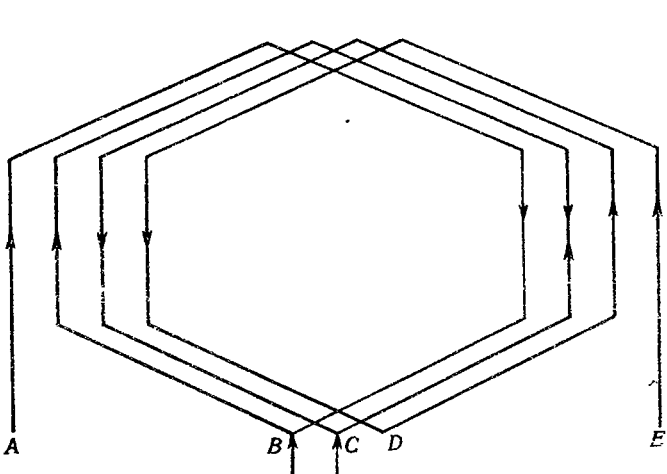


Рис. 27. Определение катушки с повреждением изоляцией

жения, например к сварочному генератору или трансформатору, то вследствие значительного нагревания места контакта проводников обмотки и магнитопровода появляется дым, а иногда и искры (изоляция "прожигается"). Для предотвращения больших размеров повреждения вследствие обгорания изоляции и оплавления проводников обмотки необходимо включить в цепь ограничивающее сопротивление.

В некоторых случаях место повреждения удается установить сравнительно простым методом, если фазную обмотку с поврежденной изоляцией и магнитопровод включить в сеть 220 В через контрольную лампу и деревянным рычагом смещать лобовые части обмотки. При смещении

катушки с поврежденной изоляцией контрольная лампа будет мигать.

Обнаруженную катушку с поврежденной изоляцией необходимо заменить. Ограничиться устранением повреждения можно в том случае, когда общее состояние изоляции удовлетворительное. Если нет возможности исправить поврежденную изоляцию и электродвигатель не может быть остановлен для ремонта обмотки, то следует отключить поврежденную катушку, т. е. разъединить концы этой и соседних катушек и затем соединить концы целых катушек. Если кроме изоляции катушки от магнитопровода повреждена также витковая изоляция, то такую катушку нужно отключить и разрезать для устранения короткозамкнутых контуров. Количество отключенных витков не должно превышать 10% общего количества витков фазной обмотки. При наличии параллельных ветвей или при соединении фазных обмоток треугольником отключение катушки может привести к появлению больших уравнительных токов, и поэтому следует отключить также катушки в других параллельных ветвях (или фазных обмотках).

16. Повреждение изоляции обмотки ротора

Фазная обмотка ротора в небольших электродвигателях выполняется однослойной с концентрическими катушками, а в электродвигателях средней и большой мощности – двухслойной стержневой. Число фаз равно трем и фазные обмотки соединяются звездой. Обмотку ротора по технико-экономическим соображениям выполняют на меньшее напряжение, чем обмотку статора, но условия работы изоляции обмотки ротора усложняются большими механическими напряжениями, вызванными укладкой бандажей на лобовых частях и центробежными силами при вращении ротора. Так как для изоляции обмоток ротора и статора применяются одинаковые материалы и эти обе части электродвигателя находятся практически в одинаковых условиях эксплуатации и хранения, то основные причины повреждения изоляции обмотки ротора те же, что и обмотки статора (см. § 15).

Для выяснения состояния изоляции производится измерение сопротивления ее при помощи мегомметра. Минимальное допускаемое сопротивление изоляции обмотки ротора определяется формулой (2). В случае пониженного

сопротивления изоляции необходимо провести сушку электродвигателя или только ротора, как описано в §15. Методы выявления поврежденной изоляции между витками или между фазными обмотками были рассмотрены в §8. В катушечной обмотке повреждение изоляции равновероятно во всех частях катушки, но все же при проверке главное внимание следует обратить на переходы проводников из пазовой части в лобовую, а в стержневой обмотке чаще всего повреждается изоляция вблизи хомутиков. Определение места повреждения изоляции обмотки от магнитопровода ротора может быть выполнено одним из методов, описанных в §15. Предпочтение следует отдать трем последним методам (метод деления обмотки на части, метод "прожигания" и метод смещения лобовых частей катушки); они отличаются простотой и позволяют быстро получить надежные результаты.

17. Повреждение изоляции контактных колец, щеткодержателей и выводных зажимов

Изоляция контактных колец и щеткодержателей может быть повреждена вследствие поверхностных разрядов даже при небольшом напряжении на обмотке ротора, которые возникают при введенном пусковом реостате или при обрыве цепи ротора за пределами электродвигателя. Причинами, способствующими возникновению этой неисправности, являются: загрязнение щеточного аппарата и контактных колец маслом из подшипников, графитной и металлической пылью от износа щеток, а также влажность воздуха, содержащего пары кислот и щелочей.

Обугливание изоляции вследствие поверхностных разрядов может привести к нарушению изоляции между кольцами или щеткодержателями и корпусом электродвигателя. Наличие поврежденной изоляции между одним кольцом или одним щеткодержателем и корпусом не отражается на работе электродвигателя, повреждение изоляции в двух местах приводит к короткому замыканию двух фазных обмоток ротора. Чтобы предупредить повреждение изоляции контактных колец и щеточного аппарата, необходимо периодически очищать их от пыли и грязи. Следует избегать включений электродвигателя в сеть при разомкнутой обмотке ротора, целесообразно перед пуском электродвига-

теля установить ползунок металлического пускового реостата на первый контакт, соответствующий полностью введенному сопротивлению, а в жидкостном реостате немного погрузить электроды в жидкость. При повышенном напряжении ротора и тяжелых условиях эксплуатации следует дополнительно покрыть лаком все токоведущие части скользящего контакта, кроме рабочих поверхностей; пленка лака должна быть гладкой и блестящей.

Проверка состояния изоляции производится мегомметром путем измерения сопротивления ее между кольцами, между пальцами щеткодержателей и между этими частями скользящего контакта и корпусом электродвигателя. Предварительно необходимо отсоединить кольца от обмотки ротора и щеткодержатели от выводных зажимов, а между кольцами и щетками проложить электрокартон или лакоткань. Так как поверхность соприкосновения токоведущих частей скользящих контактов с изоляцией небольшая, то низкое сопротивление может быть только в случае сильного увлажнения, когда необходима сушка всего электродвигателя. На практике чаще встречаются два предельных случая: изоляция целая и скользящий контакт пригоден к эксплуатации или изоляция повреждена, поэтому можно ограничиться проверкой целости изоляции контрольной лампой на напряжение 220 В.

Изоляция выводных зажимов обычно повреждается вследствие ударов при небрежном обращении с электродвигателем или при недопустимом нагревании в месте контактов зажимов с обмоткой или с проводами сети. Повреждение изоляции в этих случаях можно обнаружить при тщательном осмотре выводных зажимов без дополнительной проверки.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ПОВЫШЕННЫЙ УРОВЕНЬ ВИБРАЦИИ И ШУМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

18. Повышенный уровень поперечных вибраций

Вибрации электродвигателя могут возникнуть по многим причинам динамического и электромагнитного характера. Причины первой группы связаны как с конструктивными недостатками или с повреждением электродвигателя, так и с дефектами установки или соединения его с другой машиной. Причины второй группы связаны с недоброкачественным изготовлением или повреждением электродвигателя и в некоторых случаях с несимметричным напряжением на его зажимах. Основным недостатком, вызывающим поперечную вибрацию электродвигателя, является неуравновешенность ротора, допущенная при изготовлении или вызванная деформацией вала и ослаблением посадки вращающихся частей. Кроме того, поперечные вибрации могут быть вызваны повреждением подшипников качения, овальностью шеек вала, увеличенным радиальным зазором в подшипниках скольжения, низкой температурой масла (при подаче его насосом). Причины вибраций, связанные с установкой электродвигателя и его соединением с другими машинами, следующие: колебания фундамента или металлической конструкции, на которой установлен электродвигатель, вследствие передачи вибраций от соседних машин или же машин, жестко соединенных с электродвигателем, дефекты соединительной муфты (нарушение центровки при посадке полумуфты на вал, неправильная установка или износ пальцев), дефекты передачи (недоброкачественное изготовление и установка зубчатых колес, неправильная сшивка приводного ремня). Если вращающийся диск 1 (рис. 28) имеет добавочную

тяжелую деталь 2, то центробежная сила сектора с добавочной деталью больше, чем других секторов, и поэтому появляется результирующая односторонняя центробежная сила, направленная по радиусу, на котором расположена тяжелая деталь. При положении детали, показанном на рис. 28, центробежная сила вместе с силой тяжести диска прижимает вал к нижним вкладышам подшипников. В верхнем положении детали центробежная сила будет прижимать шейки вала к крышкам подшипников, а в промежуточных

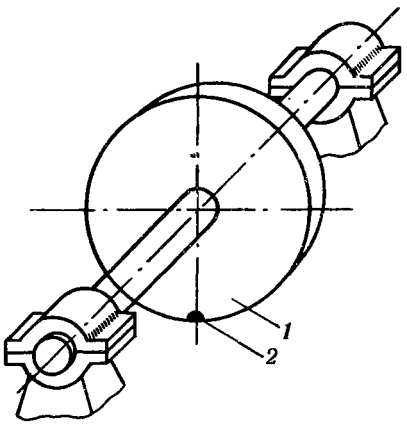


Рис. 28. Неуравновешенный диск

положениях ее подшипники будут испытывать боковое давление. Центробежная сила вызывает поперечные вибрации частоты $f = n/60$, Гц, где n – частота вращения в об/мин.

Односторонняя центробежная сила появляется при вращении ротора с несимметричным распределением массы относительно оси вращения, например при неодинаковом заполнении пазов обмоткой, несимметричной укладке лобовых частей обмотки и т. д. В процессе эксплуатации неуравновешенность ротора может быть вызвана деформацией вала и нарушением плотности сопряжения вращающихся частей, например смещением обмотки ротора вследствие ослабления бандажей и усыхания клиньев.

Неуравновешенность вращающихся частей устраняется дополнительной технологической операцией – балансировкой, при которой устанавливается дополнительная масса в определенных местах или же снимается излишек массы.

Размах вибрации измеряется специальным прибором – виброметром. Для спокойной работы электродвигателя при большой скорости вращения ротора устанавливается меньший допускаемый размах вибраций:

Номинальная скорость вращения ротора, об/мин	375	500	600	750	1000	1500	3000
Размах вибраций, мкм	90	85	80	75	70	60	40

Нарушенная плотность сопряжения вращающихся частей затрудняет проведение балансировки, так как периодически изменяется взаимное положение этих частей. Признаком ослабления посадки сердечника ротора на валу служит появление налетов ржавчины на посадочных местах, а также возрастание размаха вибраций с течением времени, что объясняется прогрессирующим характером неисправности. Для проверки плотности посадки рекомендуется смазать керосином место соединения деталей. Если посадка ослаблена, то после непродолжительного вращения керосин приобретает красновато-коричневый цвет.

Влияние увеличенного зазора между шейкой вала и втулкой подшипника на вибрацию двигателя особенно заметно при большой скорости вращения. При увеличенном зазоре вал приподнимается масляным клином и отжимается в сторону, противоположную направлению окружной скорости шейки в нижней ее части, и затем опускается под влиянием тяжести ротора. Амплитуда колебаний и частота их зависят от величины зазора, массы ротора, вязкости масла и неуравновешенности ротора (даже небольшой). Так как вязкость масла очень сильно уменьшается при повышении температуры, то вибрации также уменьшаются иногда до полного исчезновения. Это может служить признаком увеличенного радиального зазора между шейкой вала и втулкой подшипника. Рекомендуемая величина зазора была приведена в табл. 2.

Электромагнитные причины вибраций связаны с возникновением односторонней силы магнитного притяжения вследствие нарушения магнитной или электрической симметрии статора или ротора. Электрическая несимметрия возникает при ошибочных соединениях фазных обмоток (см. § 6) и при повреждениях обмоток статора или ротора. Повреждения обмотки статора (обрывы и короткие замыкания, описанные в § 15) приводят к образованию

пульсирующей односторонней силы магнитного притяжения с неизменным положением линии действия ее в пространстве. Частота вибраций в этом случае не зависит от скорости вращения ротора, т. е. от нагрузки электродвигателя, и равна 100 Гц. При повреждениях обмотки ротора, описанных в § 16, линия действия односторонней силы магнитного притяжения меняет свое положение в пространстве и частота изменения этой силы становится равной удвоенной частоте скольжения, поэтому при увеличении нагрузки электродвигателя частота вибраций также увеличивается. Неблагоприятное соотношение чисел пазов статора и ротора создает кроме описанных уже затруднений при пуске (см. § 3) пульсирующие односторонние силы магнитного притяжения. Вибрации, вызываемые этими силами, имеют большую частоту.

Магнитная несимметрия двигателя может быть обусловлена нарушением постоянства зазора между статором и ротором. Если непостоянство зазора является следствием плохого изготовления ротора или деформацией вала, то вибрации вызываются совместным действием односторонних сил магнитного притяжения и центробежных сил.

Вибрации вызываются также внешними силами, связанными с упомянутыми в начале параграфа недостатками передачи и с влиянием соединенных с электродвигателем машин. Амплитуды вибраций возрастают при плохом закреплении опор ротора, недостаточной жесткости подшипниковых стоек и фундаментной плиты, малой массе фундамента и т. д.

Недопустимо большие вибрации получаются при совпадении частоты свободных колебаний упругой системы статор – ротор с частотой вынуждающих сил. Вследствие малой величины зазора вибрации могут привести к задеванию ротора за статор и нарушить нормальную работу электродвигателя.

Чтобы установить причину вибраций, необходимо провести тщательное обследование электродвигателя, определить частоту вибраций, проверить зависимость вибраций от скорости вращения ротора, сопоставить величину вибраций при включенном и отключенном от сети электродвигателе.

Резкое уменьшение вибраций при отключенном двигателе от сети указывает на то, что они вызваны электромагнитными причинами или же недостатками передачи. Небольшая

частота вибраций и зависимость их от скорости вращения ротора (увеличение частоты при увеличении нагрузки) наблюдается при коротких замыканиях в цепи ротора. Если частота вибраций равна частоте вращения ротора, то причиной вибраций может быть неправильная центровка электродвигателя и соединенной с ним машины или неисправность муфты. Совпадение частоты вибраций с удвоенной частотой сети имеет место при неисправностях или ошибочном включении фазных обмоток статора.

Если не наблюдается резкого уменьшения вибраций при отключении электродвигателя от сети и частота их равна частоте вращения, то вероятной причиной вибраций является неуравновешенность ротора, если же частота вибраций равна удвоенной частоте вращения, то причина вибрации — овальность шейки вала. Уменьшение вибраций при уменьшении вязкости масла в подшипниках (при увеличении температуры масла) и при снижении скорости вращения ротора указывает на увеличенный радиальный зазор между шейкой вала и втулкой подшипника.

19. Осевые колебания

Между наружными кольцами и бортиками крышек у обоих шарикоподшипников (см. рис. 22, а) или у одного из шарикоподшипников (см. рис. 22, б) предусматриваются осевые зазоры 0,5–0,8 мм для возможности смещения подшипников при удлинении вала вследствие нагревания. Бортики крышек ограничивают смещение ротора в первом случае и фиксируют положение одного конца вала (левого) во втором случае и таким образом предохраняют ротор от задевания за неподвижные части электродвигателя. По указанным причинам расстояние между втулками подшипников скольжения делается больше длины вала между шейками на 2–5 мм (рис. 29).

Смещение ротора вызывается осевыми силами, обусловленными: несовпадением положения магнитопроводов ротора и статора по длине машины, скосом пазов ротора или статора, отклонением линии вала от горизонтального положения, недостатками передачи или соединительной муфты. Если эта сила или сочетание сил имеет периодический характер, то могут возникнуть продольные колебания ротора.

При правильной сборке электродвигателя магнитопроводы ротора и статора занимают одинаковое положение по длине машины (рис. 29, а) и у обоих подшипников образуются торцевые зазоры а. В электродвигателях с подшипниками скольжения можно проверить наличие этих зазоров и приблизительно величину их, если нажать деревянным рычагом на торец вала вращающегося ротора. Ротор легко смещается в сторону нажатия. Если происходит устойчивое смещение ротора в одну сторону, иногда до упора в подшипник (рис. 29, б), при холостом ходе и при нагрузке, а при отключении электродвигателя имеются

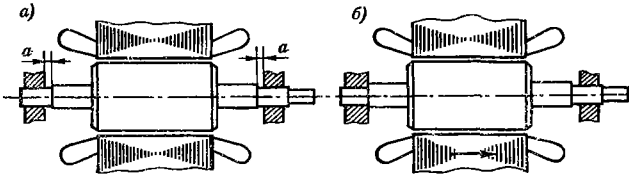


Рис. 29. Расположение статора и ротора: *а* — при правильной сборке электродвигателя, *б* — при смещении ротора относительно статора

зазоры у обоих подшипников, то причиной смещения является неправильная сборка электродвигателя. Для устранения этой неисправности при установке статора и подшипниковых стоек на общей фундаментной плите необходимо передвинуть статор, как указано стрелкой на рис. 29, б, или сместить стойки в противоположном направлении. При щитковых подшипниках необходимо сдвинуть втулки в щитах, если это возможно, или проточить вал, увеличив длину одной шейки (левой на рис. 29, б), а на вторую шейку надеть кольцо для уменьшения осевого зазора. При исправных шарикоподшипниках осевое смещение не наблюдается, неправильная сборка электродвигателя приводит к увеличению нагревания и износа шарикоподшипника, воспринимающего осевую нагрузку. Проверку установки подшипников можно произвести путем измерения соответствующих деталей в разобранном электродвигателе. В случае необходимости можно сместить ротор за счет уменьшения бортика крышки, удерживающей наружное кольцо шарикоподшипника.

Если осевое смещение ротора увеличивается при уменьшении нагрузки и получается наибольшим при отклю-

чении электродвигателя от сети, то вероятной причиной этого является отклонение вала от горизонтального положения. В этом случае причиной периодического смещения ротора являются осевая составляющая силы тяжести и осевая сила магнитного притяжения.

Увеличивающееся осевое смещение ротора при нагрузке электродвигателя может быть вызвано неравномерным износом частей эластичной муфты или недостатками передачи. При непараллельности соприкасающихся частей муфты и оси электродвигателя (рис. 30) давление P между

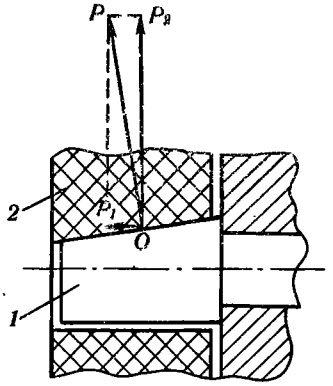


Рис. 30. Осевая сила при изношенном пальце полумуфты

пальцем 1 муфты и эластичным диском 2 имеет осевую составляющую P_1. Эти составляющие от всех пальцев складываются и могут вызвать осевое смещение ротора. Периодическое смещение ротора может быть вызвано косой сшивкой ремня или другими недостатками передачи или неисправностями соединенной с электродвигателем машины.

Продольные колебания ротора могут нарушить нормальную работу подшипников и щеток, а в некоторых случаях привести к разрушению их, поэтому величина торцевых зазоров не должна превышать рекомендуемые значения. Если в электродвигателе или в передаче при нормальной работе возможно появление неуравновешенных осевых сил (например, вследствие скоса пазов, применения косых зубцов в зубчатых колесах, конических зубчатых или червячных передач), то необходимо выбрать закрепленный шарикоподшипник с учетом этих сил и предусмотреть в подшипнике скольжения увеличенную торцевую поверхность.

20. Нормальный шум низкого тона

Работающий электродвигатель является источником шума, который возникает вследствие колебаний различных его частей. В зависимости от того, в какой части электродвигателя имеются колебания и в зависимости от сил, вызывающих эти колебания, принято различать следующие условные виды шума: магнитный, механический, вентиляционный. Нормально работающий электродвигатель создает магнитный шум низкого тона, присущий всем электромагнитным механизмам переменного тока. Этот шум вызывается колебаниями магнитопровода статора вследствие периодического притяжения между листами, из которых собран пакет статора. Механический шум обычно связан с работой подшипников и передачи. Подшипники качения создают шум большей интенсивности по сравнению с подшипниками скольжения вследствие большего количества движущихся элементов и значительной скорости их. Движение охлаждающего воздуха вызывает вентиляционный шум, в этом случае причинами шума могут быть колебания воздушной струи, частей воздухопровода или лопастей вентилятора.

Шум характеризуется его интенсивностью, которая определяется условными единицами – децибеллами, и спектральным составом, т. е. частотными составляющими. Ухо обладает повышенной чувствительностью к шуму с частотой 1000–4000 Гц. Колебания частей электродвигателя с амплитудами, измеряемыми микрометрами, в области этих частот воспринимаются как значительный шум, слышимый даже на большом расстоянии от машины.

21. Шум высокого тона

Шум с большим содержанием высокочастотных составляющих, как правило, вызывается магнитными или вентиляционными причинами и только в сравнительно редких случаях обусловлен механическими причинами. Шум высокого тона чаще всего наблюдается у вновь установленного электродвигателя, причем в других отношениях работа такого электродвигателя протекает нормально и ток в линейных проводах одинаковый. Наиболее вероятной причиной магнитного шума является вибрация зубцов статора и ротора, вызванная зубцовыми гармониками маг-

нитного потока, которые появляются при неблагоприятном соотношении чисел пазов статора и ротора. Устранение этой причины в условиях эксплуатации практически невозможно из-за трудности подбора нового ротора, имеющего другое число пазов. Вентиляционные причины шума обычно связаны с неудачным выполнением путей охлаждающего воздуха: наличием острых углов и резких изменений сечения воздушных каналов, периодическим прерыванием воздушной струи, например при расположении вентилятора вблизи подшипникового щита. Шум высокой частоты может быть вызван вибрацией изоляции, выступающей из пазов, или лобовых частей обмотки статора, при задевании ее ротором.

22. Высокий уровень шума

Колебания электродвигателя и его частей, рассмотренные в §18 и 19, создают шум различной интенсивности и различной частоты (тональности). В некоторых случаях повышенная интенсивность шума позволяет сразу же установить его причину и таким образом определить неисправность электродвигателя.

Неуравновешенность ротора создает шум сравнительно низкого тона, частота этого шума наибольшая (50 Гц) у двухполюсного электродвигателя. Уровень шума не очень высокий и возрастает при недостатках сборки, установки или конструкции электродвигателя, к ним должны быть отнесены: плохое закрепление вращающихся частей, подшипниковых щитов или подшипниковых стоек, малая жесткость подшипниковых стоек или фундаментной плиты.

Шум, вызываемый электромагнитными причинами, может иметь значительно большие интенсивность и частоту по сравнению с механическим шумом. Особенно большая интенсивность шума наблюдается при нарушении электрической симметрии статора: при ошибочных соединениях фазных обмоток статора, коротких замыканиях в этих обмотках и при значительной несимметрии на зажимах статора. Основная частота шума, вызванного электрической несимметрией статора, равна 100 Гц. Электрическая несимметрия ротора вызывает шум более низкой частоты, зависящей от скорости вращения ротора, т. е. от нагрузки электродвигателя.

Так же, как и вибрации, интенсивность шума очень сильно возрастает при совпадении частоты свободных колебаний упругой системы с частотой вынуждающих сил.

Поврежденный подшипник является источником шума повышенной интенсивности и по частоте этого шума можно установить характер неисправности. Свистящий шум указывает на отсутствие смазки. Скрежет служит признаком загрязнения смазки (наличия твердых частиц в ней), поломки сепаратора или задевания вала за крышки подшипника. Такой же характер шума возникает в начале разрушения рабочей поверхности втулки или вала. При большом разрушении поверхности втулки или вкладыша подшипника скольжения, разрушении поверхности кольца, шарика или ролика прослушивается стук в подшипнике. Причиной стука может быть и ослабление посадки внутреннего кольца на валу или наружного кольца в подшипниковом щите.

При появлении повышенного шума подшипник должен быть вскрыт и внимательно осмотрен во избежание серьезной аварии электродвигателя.

ПОВЫШЕННЫЙ ИЗНОС И ПОВРЕЖДЕНИЕ ЧАСТЕЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

23. Повышенный износ подшипников качения

Повышенный износ шарико- и роликоподшипников является следствием ряда причин: дефектов подшипника, недоброкачественной сборки электродвигателя, плохого ухода в процессе эксплуатации.

Образование трещин, раковин и сколов обычно связано с наличием скрытых дефектов в материале подшипника, с неудовлетворительной термической обработкой деталей подшипника и в сравнительно редких случаях с неправильной посадкой подшипника на вал. Для сопряжения вал–внутреннее кольцо подшипника применяют умеренно плотные посадки второго класса: для машин до 100 кВт напряженную посадку, для машин свыше 100 кВт тугую посадку. Только при больших нагрузках, когда устанавливается срок службы подшипника 1000–2000 ч, следует применять прессовые посадки. Свободная посадка кольца на вал недопустима из–за опасности износа шейки вала при проскальзывании кольца. Перед посадкой на вал подшипник нагревается в масле до температуры 150°С. Посадка наружного кольца в подшипниковом щите должна допускать небольшие перемещения, слишком тугая посадка подшипника может привести к повреждению рабочей поверхности колец и шариков при сборке и к повышенному нагреванию подшипника. Для возможности удлинения вала при нагревании должны быть предусмотрены осевые зазоры между наружным кольцом подшипника и крышками (см. рис. 22). Отсутствие этих зазоров может быть причиной повышенного износа обоих подшипников. Признаком отсутствия необходимого осевого зазора являются износ боковой

поверхности качения подшипников и затрудненное вращение ротора в нагретом состоянии.

При большой радиальной нагрузке происходит повышенный износ середины поверхности качения одного или обоих подшипников, в некоторых случаях наблюдается большой износ менее нагруженного подшипника вследствие вибрации вала электродвигателя. При большой осевой нагрузке происходит значительный износ боковых поверхностей качения наружного и внутреннего колец нагруженного подшипника.

Перекос подшипниковых щитов или подшипниковых крышек приводит к износу боковой поверхности качения на участке окружности наружного кольца с одной стороны и на другом участке окружности с противоположной стороны.

Проверка плотности прилегания щита к корпусу электродвигателя производится легкими ударами молотка по окружности подшипникового щита: в месте неплотной посадки звук от удара будет глухой низкого тона.

Для смазки подшипников качения употребляются консистентные смазки, густые при комнатной температуре. Смазка в подшипниках качения уменьшает трение скольжения между катящимися элементами и сепараторами, а также трение скольжения, связанное с деформацией шариков, роликов и колец. (В ненагруженном подшипнике при наличии смазки трение качения немного возрастает.) Кроме того, смазка предохраняет подшипник от коррозии, способствует отводу тепла от рабочих поверхностей и предохраняет подшипник от попадания пыли и влаги. Для того чтобы смазка выполняла все указанные функции, необходимо подбирать ее с учетом условий работы. Оссоголин и консталин имеют пониженную влагостойкость и разлагаются под действием влаги с выделением жирных кислот, что может вызвать коррозию подшипников. В условиях повышенной влажности следует применять солидол, но у него пониженная температура перехода в жидкое состояние.

Пополнение смазки должно производиться по графику, при непрерывной круглосуточной работе один раз в 2–3 месяца, а при односменной работе один раз в 6 месяцев. Полная замена смазки и промывка подшипника обычно производятся при ремонте электродвигателя. Для добавления смазки в большинстве случаев приходится

снимать крышку подшипника и в этом случае необходимо соблюдать меры предосторожности, исключающие попадание в подшипник грязи и особенно абразивной пыли и металлической стружки. Загрязнение смазки приводит к увеличению трения и, следовательно, к дополнительному нагреванию подшипника и к увеличению интенсивности его шума; при этом происходит ускоренный износ подшипника. Увеличение трения может привести к повреждению сепаратора и к проскальзыванию внутреннего кольца относительно шейки вала или наружного кольца относительно подшипникового щита. Значительное повреждение указанных частей приводит, как правило, к задеванию ротора за статор, поэтому при повышении температуры и интенсивности шума подшипника необходимо остановить электродвигатель, разобрать и осмотреть подшипник.

Для удержания смазки в подшипнике применяются уплотнения различных конструкций. В электродвигателях малой мощности отверстия в крышке подшипника исполняются конусными, зазор между валом и крышкой равен 0,4 мм со стороны подшипника и 0,2 мм с наружной стороны. В электродвигателях больших размеров в отверстии крышки делаются две–три кольцевые проточки. Для лучшего уплотнения в эти проточки иногда закладывается набивка из пенькового (или асбестового) шнура или специальные войлочные кольца. Причинами вытекания смазки из подшипника являются: повышенная температура подшипника или несоответствующий сорт смазки для рабочей температуры подшипника, большое количество смазки, износ уплотнений. Если смазка вытекает в жидком состоянии, то необходимо устранить причину повышенного нагревания подшипника или применить более тугоплавкую смазку. В случае выдавливания смазки при нормальной температуре подшипника следует заменить уплотняющую набивку и поставить прокладки из электрокартона или лакоткани между крышками подшипника и щитом.

24. Повышенный износ подшипников скольжения

Непосредственной причиной повышенного износа подшипника является увеличенная сила трения, вызванная недостатками изготовления или сборки электродвигателя, дефектами передачи, плохой смазкой. Увеличенная сила

трения вызывает также повышение температуры подшипника, и это часто может служить первым признаком ненормальной работы его. Недостатки изготовления подшипника или сборки электродвигателя проявляются сразу же после установки нового или отремонтированного электродвигателя. Наиболее часто встречаются ошибки при изготовлении втулки или вкладышей, особенно в выполнении маслораспределительных каналов. При подаче масла кольцом на втулке делается один или реже два

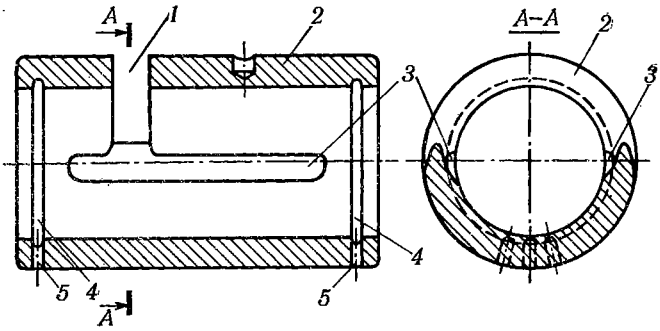


Рис. 31. Втулка подшипника скольжения

поперечных паза 1 (по количеству колец) почти до горизонтального диаметра втулки 2 (рис. 31). Этот паз необходим для соприкосновения кольца с валом. Ширина паза должна быть достаточной для свободного вращения кольца, и края паза не должны препятствовать этому вращению. Место расположения паза по длине втулки зависит от общей конструкции подшипника. Распределение масла осуществляется двумя боковыми каналами 3, расположенными по образующим внутренней поверхности втулки. Иногда в старых подшипниках встречаются криволинейные каналы для распределения масла по всей поверхности втулки, но такие каналы уменьшают подъемную силу масляного клина, поэтому в новых втулках их повторять не следует. Поперечный паз 1 втулки должен соединяться с маслораспределительными каналами 3 и края маслораспределительных каналов должны иметь плавный переход к рабочей поверхности втулки. Наличие острых кромок в этих местах будет препятствовать

перемещению масла с кольца в каналы и смазке шейки вала.

Для предупреждения растекания масла вдоль вала за пределы шеек вблизи торцов втулки делаются кольцевые проточки 4. В нижней части этих проточек сверлятся два–три радиальных отверстия 5 для стока масла. Между продольными каналами и кольцевой проточкой должен оставаться промежуток 4–6 мм.

Продольные распределительные каналы во вкладышах располагаются в месте стыка. Здесь также следует выполнять плавный переход между этими каналами и рабочей поверхностью вкладыша, особенно нижнего. При подаче масла кольцом верхний вкладыш получается сложной формы для возможности размещения в нем и свободного вращения кольца.

Повышенная сила трения может быть при малом зазоре между шейкой вала и втулкой вследствие того, что образование масляного клина в этом случае затруднено. Способ проверки зазора описан в § 14. Увеличение диаметра втулки может быть достигнуто дополнительной шабровкой, а для увеличения зазора между шейкой вала и верхним вкладышем следует поставить прокладки между вкладышами. Увеличение зазора и уменьшение за счет этого силы трения приводят к уменьшению износа подшипника.

В обычном подшипнике скольжения упорная торцовая поверхность небольшая и если из–за неправильной сборки (рис. 29, б) или вследствие других причин появляется значительная осевая сила, то происходит большой износ одного из подшипников.

Перекос втулки в подшипниковом щите при правильной форме этих деталей практически невозможен, несовпадение оси втулки и оси вала обычно является следствием перекоса подшипникового щита или деформации вала. Характер износа рабочей поверхности втулки по указанным причинам получается различным. При перекосе подшипникового щита или упругой деформации вала износ втулки происходит на противоположных частях окружности вблизи обоих торцов. При остаточной деформации вала износ втулки происходит по всей окружности у обоих торцов.

Поврежденная или грубо обработанная рабочая поверхность шейки вала или втулки затрудняет образование масляной пленки, разделяющей металлические поверхности;

в этом случае наблюдается повышенный износ втулки подшипника.

Неудовлетворительная смазка подшипника может быть вызвана отмеченными ранее недостатками выполнения смазочных каналов, дефектами кольца, подающего масло, и несоответствием или загрязнением масла. К дефектам кольца относятся отклонение его от круглой формы, изгиб торцовых плоскостей, повреждение поверхности кольца, наличие вмятин, малая масса кольца.

При подаче масла насосом недостаточная подача его может быть вызвана местным уменьшением сечения маслопровода или засорением фильтров. Подача масла кольцом мало изменяется при понижении его уровня, однако при очень низком уровне масла в подшипнике подача масла уменьшается. Слишком жидкое или слишком густое масло не обеспечивает нормальной работы подшипника. В первом случае подъемная сила масляного клина получается недостаточной при большой нагрузке на подшипник и происходит трение металлических поверхностей. Во втором случае уменьшается количество подаваемого масла.

Особенно большой износ подшипника происходит при загрязнении масла абразивными или металлическими частицами, которые могут попасть в масло либо при хранении его в открытом сосуде, либо при открытой крышке подшипника из окружающего воздуха, или же являются продуктом износа втулки и шейки вала. В некоторых сравнительно редких случаях масло загрязняется формовочной смесью, если внутренняя поверхность резервуара подшипника была плохо очищена. Наличие в масле волокнистых материалов непосредственно не вызывает износа рабочих поверхностей подшипника, но засорение маслораспределительных каналов в этом случае может вызвать ухудшение смазки.

Повышенный износ подшипника приводит к смещению ротора относительно статора, при котором нарушается равенство зазоров между статором и ротором по различным радиусам. Нарушение зазора приводит к появлению односторонней силы магнитного притяжения, которая увеличивает нагрузку на подшипник и ускоряет его износ.

Недостатком в работе подшипника является вытекание масла. Слой масла с прилипшей к нему пылью загрязняет поверхность электродвигателя, а стекание масла на

фундамент вызывает разрушение бетона. Попадание масла внутрь электродвигателя приводит к более тяжелым последствиям, так как на смоченной маслом поверхности осаждается пыль из охлаждающего воздуха, значительно ухудшающая теплоотдачу. Масло растворяет некоторые лаки и ухудшает изоляцию обмотки. Причинами вытекания масла могут быть недостаточное или изношенное уплот-

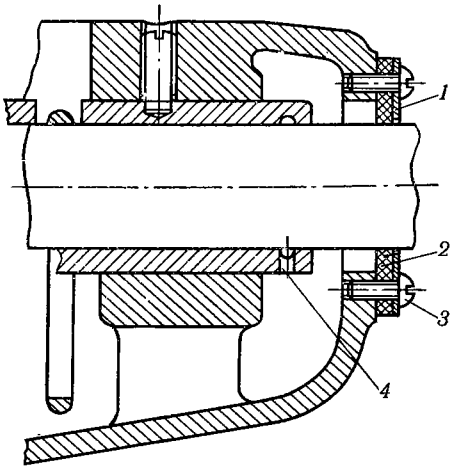


Рис. 32. Уплотненне подшнпннка скольженя

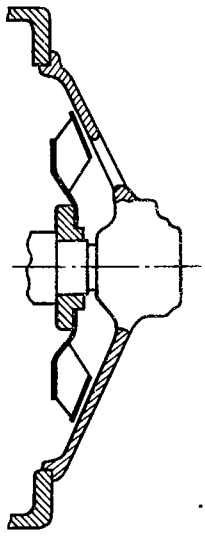


Рис. 33. Расположение веитилятора у подшипнника

нение подшипника, сильное вентилирующее действие вращающихся частей электродвигателя (шкива, вентилятора), наличие зазоров между крышкой и корпусом подшипника, плохое уплотнение маслоуказателя или пробки для спуска масла, высокий уровень масла в подшипнике. Большое давление в маслопроводе, создаваемое насосом, также может быть причиной вытекания масла.

В случае растекания масла по валу рекомендуется установить дополнительное уплотнение. На рис. 32 показано простое уплотнение, состоящее из стальной шайбы 1 толщиной 1–2 мм с зазором между шайбой и валом 0,5 мм. Между этой шайбой и корпусом подшипника

устанавливается фетровое кольцо 2. Уплотнение прикрепляется к подшипнику тремя—четырьмя винтами 3. Удовлетворительные результаты может дать уплотнение в виде латунной шайбы толщиной 2 мм, прикрепленной к подшипнику винтами и имеющей острый край, плотно пригнанный к валу.

Растекание масла вдоль вала вызывается также засорением или малым сечением отверстий 4 для стока (рис. 32), поэтому при разборке электродвигателя следует проверить чистоту этих отверстий, а в случае необходимости увеличить их диаметр.

Вытекание масла у одного из торцов подшипника при удовлетворительном состоянии уплотнений указывает на сильное вентилирующее действие ротора, которое наблюдается, например, при указанной на рис. 33 установке вентилятора.

Если обнаружена неплотность резьбового соединения маслоуказателя или пробки для спуска масла, то необходимо сделать соответствующие уплотнения. Под головку пробки рекомендуется поставить стальную шайбу и между стальной шайбой и корпусом подшипника уплотняющую свинцовую шайбу.

Для предотвращения вытекания масла при добавлении его в подшипник необходимо наливать масло, руководствуясь отметкой на маслоуказателе, и только при неподвижном роторе. Эту операцию следует проводить постепенно, так как вязкость масла препятствует быстрому установлению одинакового уровня в резервуаре подшипника и в маслоуказателе.

25. Задевание ротора за статор

Причиной этой неисправности может быть неправильная сборка электродвигателя, имеющего подшипники на стойках. Значительно реже эта причина встречается в электродвигателях с встроенными в щиты подшипниками. Недостатки сборки обычно проявляются сразу же после установки электродвигателя, и при тщательном контроле их можно избежать.

К задеванию ротора за статор могут также привести: деформация магнитопровода статора или ротора, изгиб вала, который обычно происходит при транспортировке или установке двигателя. Наиболее вероятными причинами

задевания ротора за статор в процессе эксплуатации являются: повышенный износ или повреждение подшипников, повышенное неуравновешенное магнитное притяжение, большой размах вибраций. Характерным признаком задевания ротора за статор являются затруднение при пуске (иногда невозможность пуска), пониженная скорость вращения, шум электродвигателя низкого тона, поперечные вибрации ротора, появление дыма. На соприкасающихся поверхностях статора и ротора остаются следы в виде полированных участков, покрытых пленкой цветного окисла, а иногда имеют место изгиб зубцов и повреждение обмотки. При всех перечисленных признаках следует проверить величину зазора между статором и ротором. Измерение зазора производят щупом, состоящим из набора калиброванных пластин. Для более точного измерения необходимо щуп вводить параллельно оси машины по зубцу статора в местах, свободных от лака и грязи, и не попадать на клин паза или бандаж. Зазор измеряют в четырех местах по окружности статора с обеих сторон. В некоторых закрытых электродвигателях измерение зазора производят в трех местах по окружности статора через специальные отверстия в подшипниковых щитах. В рабочем состоянии электродвигателя эти отверстия закрыты крышками, и для измерения зазора необходимо снять эти крышки. Измерения следует повторить для нескольких положений ротора. Если получаются различные величины зазора по окружности статора и они повторяются при повороте ротора, то вероятными причинами неисправности могут быть: смещение подшипниковых стоек относительно статора, деформация магнитопровода статора, износ или повреждение подшипников. В этом случае следы касания имеются на небольшом участке внутренней поверхности статора и по всей окружности ротора. При изгибе вала, отклонении формы магнитопровода от кругового цилиндра или смещении его оси зазор зависит от положения ротора. Следы касания получаются по всей окружности статора и на небольшом участке поверхности ротора. Изгиб вала может быть вызван остаточной деформацией или же упругой деформацией вследствие большого натяжения ремня, поэтому следует проверить размер зазора и при снятом приводном ремне.

Измеренные величины зазора должны укладываться в пределы 0,9–1,1 среднего значения всех измерений.

Повышенная неравномерность зазора может стать причиной задевания ротора за статор вследствие упругой деформации вала под влиянием односторонней силы магнитного притяжения.

Износ подшипников скольжения или повреждение подшипников качения может явиться причиной касания ротором статора при отключенном электродвигателе. Пуск электродвигателя в этом случае невозможен.

Деформация магнитопровода статора или ротора наиболее вероятна у электродвигателей средней и большой мощности, у которых магнитопроводы собраны из отдельных кольцевых секторов. Недостаточная жесткость конструктивных элементов крепления секторов может привести к нарушению формы магнитопровода и размеров зазора.

Большая величина односторонней силы магнитного притяжения может быть вызвана нарушением электромагнитной симметрии электродвигателя вследствие коротких замыканий в обмотках или неправильным соединением обмоток. Признаком этой неисправности является значительное местное нагревание обмотки и повышенная интенсивность шума, как указано в § 8.

26. Износ контактных колец и щеток

Переход тока в скользящем контакте зависит от состояния и условий работы щеток и контактных колец. Литые кольца из бронзы и чугуна могут иметь поры, усадочные раковины, различную твердость и различную структуру материала. Кольца с указанными недостатками при трении о щетки изнашиваются неравномерно и на рабочей поверхности их образуются пятна, т.е. участки темного цвета с пониженной чистотой поверхности. Стальные и латунные кольца кованые или из прокатанной заготовки имеют улучшенную структуру материала и поверхность одинаковой чистоты.

Если электродвигатель не работает продолжительное время, то на кольцах возникают пятна в местах соприкосновения со щетками вследствие электрохимических процессов. Образование пятен происходит особенно интенсивно на стальных кольцах с электрографитированными щетками при влажном воздухе.

Неодинаковая чистота поверхности участков кольца обусловливает различные условия трения и появление

поперечных вибраций щетки, которые сопровождаются искрением. Электрическая дуга вызывает испарение металла кольца и дальнейшее разрушение его поверхности.

Искрение под щетками может быть вызвано также периодическим нарушением контакта поперечными вибрациями электродвигателя (см. § 18) или смещением геометрической оси колец с оси вращения ("биением" колец). Последнюю неисправность легко выявить, если нажать изолированным стержнем на щетку: радиальные перемещения щетки с частотой вращения указывают на эксцентричное положение кольца. Причина этой неисправности может быть следствием неумелой проточки кольца или ослабления крепления его на втулке.

Масляная пленка на поверхности контактных колец, образующаяся при вытекании масла из подшипника, увеличивает переходное сопротивление скользящего контакта, поэтому рекомендуется периодически протирать кольца чистой тряпкой.

Устранение пятен и эксцентриситета кольца достигается его проточкой с последующей шлифовкой. Предварительно следует убедиться в плотности посадки колец на валу. При механической обработке колец необходимо предохранить обмотку от попадания в нее стружек, а в случае если эта операция производится в подшипниках электродвигателя, необходимо также защитить подшипники от попадания в них металлической и абразивной пыли.

Для предупреждения образования пятен вследствие химических процессов при продолжительной остановке электродвигателя, а также при хранении на складе рекомендуется прокладывать между щетками и контактными кольцами электрокартон или другой изоляционный материал.

При нормальных условиях эксплуатации износ щеток значительно больше, чем износ колец, поэтому щетки являются сменными деталями электродвигателя, запас которых должен быть на складе.

Искрение под щетками является признаком плохой работы скользящего контакта. Причины искрения связаны с описанными ранее повреждениями рабочей поверхности контактного кольца и с вибрацией электродвигателя, а также с плохим состоянием рабочей поверхности щеток, с недостатками выполнения и закрепления щеткодержателей.

Наиболее вероятной причиной искрения под вновь установленными щетками является плохая подгонка рабочей поверхности щетки, когда вследствие малой поверхности соприкосновения щетки с кольцом плотность тока в контакте становится очень большой и нарушается равномерное распределение тока между параллельно включенными щетками. Качество подгонки щетки проверяется при осмотре ее рабочей поверхности. Поверхность контакта должна быть гладкой и блестящей, а размеры ее должны быть наибольшими при выбранном поперечном сечении щетки. Шлифовку рабочей поверхности щетки производят стеклянной (не наждачной) бумагой. Для этого между кольцом и щеткой прокладывают полоску стеклянной бумаги шириной на 3–5 мм больше ширины щетки и протягивают ее по окружности кольца при нормальном положении щеткодержателя. Правильная кривизна поверхности получается, если полоска стеклянной бумаги плотно прилегает к кольцу, при выпрямлении полоски края щетки будут спилены и площадь контакта уменьшена.

Ширина щетки должна быть меньше ширины кольца, а осевой зазор в подшипниках электродвигателя ограничен минимальной величиной. Если при износе щетки наблюдается образование выступающей кромки или заметны сколы на боковой грани щетки вследствие обламывания этой кромки, то следует проверить положение щетки относительно кольца и отрегулировать его таким образом, чтобы щетка в рабочем состоянии занимала среднюю часть ширины кольца и при возможных продольных смещениях ротора (см. рис. 29, а), полностью соприкасалась с кольцом.

В асинхронных двигателях применяется два типа щеткодержателя: с рычагом для закрепления щетки и с направляющей обоймой для щетки. Первый тип щеткодержателя используется в электродвигателях небольшой мощности, когда по допускаемой плотности тока достаточна одна щетка на кольце, но для надежности работы скользящего контакта ставится не менее двух щеткодержателей со щетками. Щеткодержатель второго типа занимает мало места по окружности кольца, и установка таких щеткодержателей в крупных электродвигателях позволяет разместить необходимое количество щеток.

Пружина через рычаг щеткодержателя должна обеспечивать давление щетки на кольцо 1,5–2,5 Н/см^2 и

сохранять это давление независимо от высоты щетки. Рекомендуемое давление для различных марок щеток приведено в ГОСТ 2332–63, по этому давлению и площади контакта рассчитывается необходимая сила пружины. Износ щеток от трения уменьшается при уменьшении давления, однако при этом может возникнуть искрение вследствие нарушения контакта, вызванного вибрациями электродвигателя. Поэтому целесообразно устанавливать минимальное нажатие рычага на щетку, обеспечивающее надежный контакт. Проверка нажатия производится дина-

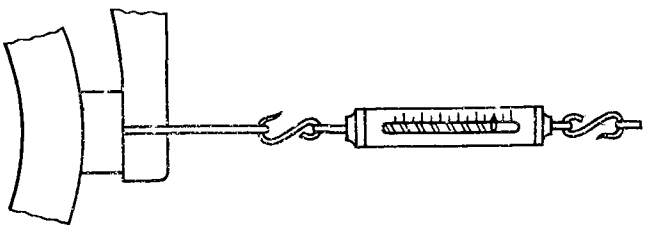


Рис. 34. Проверка нажатия щетки на кольцо

мометром, прикрепленным к рычагу щеткодержателя (рис. 34).

Для получения правильных результатов динамометр следует прикреплять к середине щетки и направлять его по радиусу кольца. Под щетку целесообразно подложить полоску бумаги и постепенно увеличивать натяжение пружины динамометра. Отсчет по динамометру следует произвести в момент освобождения этой полоски.

В щеткодержателе первого типа регулирование нажатия производится поворотом хомутика на пальце, после регулирования хомутик должен быть надежно закреплен стопорным винтом. Щеткодержатели второго типа имеют различные конструктивные решения для регулирования нажатия щетки на кольцо.

Неравномерное распределение тока между щетками происходит вследствие плохого контакта в цепи щеткодержателей и токоподводов, неодинакового нажатия на щетки или применения щеток с различными характеристиками. Для выявления этих неисправностей необходимо проверить все контакты токоподводов и измерить нажатие

на щетки. Следует применять щетки только одной марки, по крайней мере на одном кольце.

Нарушение контакта между щеткой и кольцом может быть вызвано неисправностью шарнирных соединений щеткодержателя, плохим закреплением его или тугой посадкой щетки в обойме. Поворот рычага щеткодержателя должен происходить плавно и при небольшом усилии. Перемещение конца рычага (с закрепленной щеткой) вдоль оси электродвигателя должно быть минимальным, чтобы сохранялся контакт щетки с кольцом по всей ее рабочей поверхности при возможных осевых смещениях ротора.

Размеры щетки должны соответствовать размерам обоймы. При увеличенных размерах щетки затрудняется ее перемещение в обойме и рекомендуемое давление пружины щеткодержателя может оказаться недостаточным для создания надежного скользящего контакта. При уменьшенных размерах щетки возможно периодическое изменение положения ее в обойме и дробление контактной поверхности на несколько частей. Для выявления этих недостатков необходимо проверить величину зазора между щеткой и щеткодержателем и состояние рабочей поверхности щетки. Величина зазора должна быть в пределах 0,2–0,3 мм, и рабочая поверхность щетки должна иметь одну непрерывную кривизну. При малом зазоре необходимо произвести шлифовку щетки, при этом следует обратить внимание на следы деформации – блестящую поверхность. При большом зазоре необходимо заменить щетку.

Расстояние между обоймой и кольцом должно быть не более 2 мм.

Внимательный уход и своевременное устранение замеченных неисправностей способствуют увеличению времени работы электродвигателя без капитального ремонта, уменьшению объема ремонта и в ряде случаев позволяет избежать аварий и вынужденного простоя оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Гемке Р. Г. Неисправности электрических машин. Изд. 7-е. Л., "Энергия", 1969. 272 с. с ил.

Гинсбург Е. Л. Ремонт и эксплуатации подшипников электрических машин. М.-Л., Госэнергоиздат, 1953. 112 с. с ил.

Ривлин Л. Б. Обслуживание цехового оборудования. Изд. 2-е. М.-Л., Госэнергоиздат, 1956. 284 с. с ил.

Шпизер Р., Грюттер Ф. Неисправности электрических машин и способы их устранения. Л., "Судостроение", 1964. 370 с. с ил.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3

Глава первая. НЕДОСТАТОЧНЫЙ ВРАЩАЮЩИЙ МОМЕНТ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ 5

1. Вращение ротора затруднено . . . . . –
2. Пусковой момент электродвигателя отсутствует 6
3. Вращающий момент отсутствует в некоторых положениях ротора 13
4. Уменьшенный вращающий момент при низкой скорости вращения ротора 14
5. Уменьшенный вращающий момент 16
6. Вращающий момент электродвигателя пульсирующий . . . 21

Глава вторая. ПОВЫШЕННОЕ НАГРЕВАНИЕ ЧАСТЕЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ 33

7. Повышенное общее нагревание статора и ротора . . . . . –
8. Местное нагревание обмотки статора 43
9. Местное нагревание обмотки ротора 48
10. Местное нагревание магнитопровода статора . . . . . –
11. Повышенное нагревание соединений катушек и выводных зажимов 49
12. Значительное нагревание контактных колец и щеток 51
13. Повышенное нагревание бандажей . . . . . –
14. Повышенное нагревание подшипников 52

Глава третья. ПОВРЕЖДЕНИЕ ИЗОЛЯЦИИ ТОКОВЕДУЩИХ ЧАСТЕЙ 58

15. Повреждение изоляции обмотки статора . . . . . –
16. Повреждение изоляции обмотки ротора 65
17. Повреждение изоляции контактных колец, щеткодержателей и выводных зажимов 66

Глава четвертая. ПОВЫШЕННЫЙ УРОВЕНЬ ВИБРАЦИИ И ШУМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ 68

18. Повышенный уровень поперечных вибраций . . . . . –
19. Осевые колебания 72
20. Нормальный шум низкого тона 75
21. Шум высокого тона . . . . . –
22. Высокий уровень шума 76

Глава пятая. ПОВЫШЕННЫЙ ИЗНОС И ПОВРЕЖДЕНИЕ ЧАСТЕЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ 78

23. Повышенный износ подшипников качения . . . . . –
24. Повышенный износ подшипников скольжения 80
25. Задевание ротора за статор 85
26. Износ контактных колец и щеток 87

Список литературы 92

Дерo А. Р.

Д 36 Неполадки в работе асинхронного двигателя. Л. "Энергия", 1976.

96 с. с ил. (Б-ка электромонтера. Вып. 444.)

В книге описаны неполадки в работе асинхронных двигателей, рассмотрены причины этих неполадок - неисправности отдельных частей электродвигателя, приведены наиболее простые и доступные в условиях эксплуатации способы определения неисправностей и средства устранения их.

Книга предназначена для электромонтеров, обслуживающих электрооборудование, электромонтеров и электрослесарей, ремонтирующих электрооборудование, слесарей-электромонтажников и может служить пособием для учащихся школ ПТУ, приобретающих указанные профессии.

Д $\frac{30307-156}{051(01)-76}$ 36-76 6П2.1.081

Александр Романович Деро

НЕПОЛАДКИ В РАБОТЕ
АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Редактор В. В. Лебедева
Художественный редактор Г. А. Гудков
Технический редактор О. С. Житникова
Корректор Т. М. Бовичева

Сдано в набор 17/XI 1975 г.
Подписано к печати 30/VII 1976 г.
М-23120. Формат 84×108/32.
Бумага офсетная №1. Усл.-печ. л. 5,04.
Уч.-изд. л. 4,8. Тираж 30000 экз.
Заказ 2537. Цена 23 коп.

Ленинградское отделение издательства
"Энергия". 192041, Ленинград, Марсово
поле, 1.

Ленинградская фабрика офсетной печати №1
Союзполиграфпрома при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам
издательств, полиграфии и книжной торговли.
197101, Ленинград, П-101, Кронверкская, 7.



Издательство „ЭНЕРГИЯ"

ИМЕЮТСЯ В ПРОДАЖЕ СЛЕДУЮЩИЕ КНИГИ ПО ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Аврух В. Ю., Зайчиков В. Г., Шелепов Б. А. Устройство и эксплуатация щеточных узлов современных турбогенераторов и турбовозбудителей. 1974. 136 с. с ил. 39 к.

Александров Г. Н. Сверхвысокие напряжения. 1973. 184 с. с ил. 70 к.

Малышев А. И. Фильтры высокочастотной аппаратуры уплотнения линий электропередачи. 1972. 80 с. с ил. (Б-ка электромонтера. Вып. 370.) 17 к.

Правила техники безопасности при электромонтажных и наладочных работах. 1973. 168 с. с ил. 62 к.

Руководящие указания по релейной защите. Вып. 9. Дифференциально-фазная высокочастотная защита линий 110–330 кВ. 1972. 112 с. с ил. 86 к.

Заказы можно направлять по адресу:

196066, Ленинград, М-66, Московский пр., 189,
магазин Ленкниги № 92 "Энергия",
отдел "Книга – почтой"