

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. ИЗНОС И ПОВРЕЖДЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ	6
1.1. Общие закономерности процессов износа деталей и узлов электрооборудования.....	6
1.2. Характерные повреждения и дефекты элементов электрических двигателей.....	9
1.3. Повреждения и дефекты синхронных генераторов	16
1.4. Повреждения и дефекты трансформаторов	26
1.5. Износы и повреждения аппаратов управления и защиты электрических машин и электроустановок.....	29
1.6. Износ и повреждения разборных электроконтактных соединений	30
ГЛАВА 2. КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ	32
2.1. Тепловой режим электрооборудования	32
2.2. Методы температурного контроля технического состояния электрооборудования	35
ГЛАВА 3. ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ.....	44
3.1. Общие понятия, термины и определения, используемые в диагностике	44
3.2. Задачи технического диагностирования	47
3.3. Методы и формы технического диагностирования электрооборудования	53
3.4. Осмотр электрооборудования и измерения.....	56
3.5. Профилактические испытания	58
3.6. Техническое диагностирование	62
3.7. Поиск неисправностей и места повреждения электрооборудования.....	64
3.8. Анализ дерева отказов	67
3.9. Современные методы неразрушающего контроля оборудования электростанций и подстанций.....	71
3.10. Выбор объектов и параметров диагностирования электрооборудования	84
3.11. Выбор инструментов и средств диагностирования электрооборудования	87
3.12. Выбор технологии диагностирования.....	89
ГЛАВА 4. ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ И СХЕМЫ ДЛЯ ОТДЕЛЬНЫХ ВИДОВ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ.....	94
4.1. Диагностирование основных неисправностей электрических машин.....	94
4.2. Диагностирование обмоток электрических машин	96
4.3. Измерение сопротивления обмоток постоянному току	102
4.4. Контроль переходного сопротивления контактов и в контактных соединениях	104
4.5. Определение состояния изоляции	107
4.6. Осциллографирование	115
4.7. Диагностирование корпусной и межфазной изоляции обмоток электрических машин	116
4.8. Диагностирование межвитковой изоляции обмоток электрических машин	118
4.9. Испытание изоляции обмоток электрических машин повышенным напряжением....	119
4.10. Диагностирование короткозамкнутых обмоток роторов без разборки электродвигателей.....	124
4.11. Определение технического состояния магнитопроводов электрических машин.....	126
4.12. Определение технического состояния коллекторов, контактных колец и элементов щеточного аппарата электрических машин.....	127
4.13. Диагностирование подшипниковых узлов электрических машин.....	129
4.14. Диагностирование неисправностей генератора и методы их устранения.....	131
4.15. Диагностирование трансформаторов	141

4.16. Диагностика состояния маслонаполненного оборудования по результатам физического, химического, электрического анализа трансформаторного масла и хроматографического анализа растворенных газов.....	158
4.17. Диагностирование низковольтных электрических аппаратов схем управления	166
4.18. Диагностирование элементов системы постоянного оперативного тока	177
ЛИТЕРАТУРА	183
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	186
Приложение 1. Протокол осмотра электрооборудования.....	186
Приложение 2. Протокол испытания	187
Приложение 3. Протокол диагностирования	189
Приложение 4. Протокол результатов дефектации	190
Приложение 5. Символы дерева отказов	191

ВВЕДЕНИЕ

Данное пособие является результатом многолетнего опыта изложения основ диагностики электрооборудования студентам-электрикам и во многом описывается на замечательную, по мнению автора, книгу Виктора Павловича Тарана «Диагностирование электрооборудования», изданную более 30 лет назад.

Основное электрооборудование современной электростанции (генераторы, трансформаторы и электродвигатели механизмов собственных нужд, распределительные устройства и др.) отличается высокими требованиями к показателям надежности его работы. Одним из основных направлений увеличения экономической эффективности работы электростанций является именно повышение эксплуатационной надежности их электрооборудования. Соответственно, большое значение имеют современные возможности персонала по предупреждению отказов электрооборудования, обнаружению и устранению причин их возникновения, т. е. диагностика его состояния и своевременный профилактический ремонт.

Особое внимание уделяется обеспечению долговечности качеств и характеристик всех видов электрооборудования, заявленных заводом-изготовителем, и увеличению срока службы (минимальный ресурс в 25 лет определен ГОСТ 533-76 Машины электрические врачающиеся. Турбогенераторы. [1]). Различные системы мониторинга и диагностики позволяют не только наблюдать за изменением технического состояния узлов и элементов оборудования в ходе эксплуатации, но и оптимизировать режимы работы, фиксировать признаки старения и зарождения дефектов, оценивать их скорость развития, тяжесть и возможные последствия, своевременно принимать решение о временном изменении или ограничении определенных режимов работы, о необходимости и целесообразности проведения дополнительных профилактических мероприятий и ремонтных работ и др.

В то же время на вооружении эксплуатационного персонала все еще нет цельной системы технической диагностики, которая бы обеспечивала стопроцентный текущий комплексный контроль и оценку технического состояния таких сложных систем, как электрооборудование, гарантировала раннее обнаружение дефектов и прогнозировала процессы их развития.

Существующие диагностические методы и средства способны отображать лишь часть свойств и режимов работы контролируемых объектов, поэтому сохраняется проблема разработки эффективных систем распознавания, идентификации и оценки различных технических состояний электрооборудования для наиболее раннего выявления дефектов, обнаружения и локализации неисправностей, прогноза возможных событий и своевременной выдачи рекомендаций эксплуатационному персоналу.

ГЛАВА 1. ИЗНОС И ПОВРЕЖДЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

1.1. Общие закономерности процессов износа деталей и узлов электрооборудования

В ходе эксплуатации износу подвержены все виды электрооборудования. Это и коррозия под воздействием окружающей среды, и силы трения в подвижных элементах и вращающихся частях, и физическое старение. Несмотря на различное назначение, разнообразие конструкций и материалов, условий эксплуатации и других факторов, процессы износа деталей и узлов электрооборудования имеют общие закономерности, которые наиболее ярко проявляются в электрических машинах и аппаратах.

Процесс износа деталей, как и состояние электрооборудования иллюстрируют графически две кривые, представленные на рисунке 1.1а.

— зависимость ($I = f(t)$), или так называемая классическая кривая износа во времени;

— зависимость ($\gamma = f(t)$), отражающая изменение скорости износа во времени.

Если бы износ происходил равномерно за всё время эксплуатации, то его можно было бы представить прямой 1 (рис. 1.1б), но в действительности износ любого оборудования после ввода в эксплуатацию происходит неодинаково, его условно принято делить на три периода. Данные об отказах асинхронных электродвигателей подтверждают правомерность такого поэтапного рассмотрения процесса износа [2].

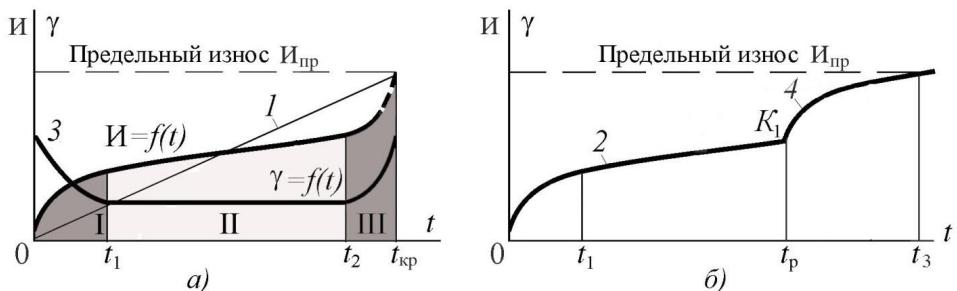


Рис. 1.1
Процесс износа электрооборудования

а — классическая кривая износа электрооборудования без ремонта (без разборки); б — кривая износа электрооборудования после ремонта (разборки); 1 — равномерный износ; 2 — кривая износа электрооборудования после ремонта (разборки); 3 — скорости износа во времени; 4 — кривая износа после ремонта (разборки).

Период приработки I относится к начальному этапу работы электродвигателей, когда наблюдается наибольшее число отказов, обусловленных конструк-

тивными недоработками и технологическими дефектами их изготовления. В результате изучения характера и причин отказов асинхронных электродвигателей единых серий мощностью до 100 кВт установлено, что период приработки составляет примерно 1000 ч работы [2].

В 1-м периоде (приработки) интенсивность изнашивания довольно высока, так как происходит истирание неровностей обработки и как бы «подгонка» и приработка сопряжённых поверхностей деталей. Он характеризуется крутым подъёмом кривой $I = f(t)$ от момента начала эксплуатации ($t = 0$) до момента t_1 начала нормального износа и резким снижением кривой 3, отражающей изменение скорости износа γ во времени (рис. 1.1а).

Период нормальной эксплуатации II начиная с момента t_1 характеризуется примерным постоянством интенсивности отказов в работе в единицу времени. В этот период основной причиной потери работоспособности и отказов, как правило, являются случайные явления: непредвиденные технологические перегрузки; аварии механизма, приводом которого является электродвигатель; работа на двух фазах при отсутствии или неправильно настроенной защиты и пр.

Во 2-м периоде (нормального износа) от t_1 до t_2 происходит относительно равномерный со сравнительно установившейся скоростью γ износ деталей. Обычно это самый длительный период эксплуатации детали или узла.

3-й период (интенсивного износа) от t_2 до t_{kp} характеризуется резким увеличением скорости γ износа данной детали или узла и сопряжённых с ними других деталей и узлов, увеличения зазоров и других причин. Из-за старения и износа узлов и деталей электрооборудования особенно подвижных частей и изоляции обмоток возникают отказы в работе.

Именно в течение третьего периода наиболее вероятен выход детали из строя или она может послужить причиной выхода из строя другой, сопряжённой с ней детали или узла. В некоторых случаях износ детали и узла сам по себе не создаёт аварийную ситуацию, т. е. не приводит к отказам, но делает работу электрической машины или аппарата экономически невыгодной.

Одной из основных мер определения исправности детали или узла, т. е. способности выполнять заданные функции, является установление предельных значений износа I_{pr} или других параметров, характеризующих их работоспособность. Если износ и другие параметры ещё не вышли за свои предельные значения, считается, что деталь или узел работает удовлетворительно. При выходе износа или параметров за предельные значения деталь или узел считаются неработоспособными или отказавшими. На рисунках 1.1а, б предельное значение износа обозначено как I_{pr} .

Кривая 1 на рисунке 1.1а характеризует износ детали для случая, когда за период работы до исчерпания своего ресурса в момент времени t_{kp} , т. е. до достижения предельного значения износа I_{pr} , деталь работает в сопряжении, которое не разбиралось. Если же через определённое время после начала эксплуатации, например в момент времени t_p (рис. 1.1б) наступил ремонт и сопряжение было разобрано, то износ начиная с момента времени t_p (после окончания ремонта) будет отражать уже кривая 4 на рисунке 1.1б, так как в точке K_1 вновь

начнётся период приработки детали после сборки сопряжения. После проведения ремонта (разборки и сборки сопряжения) ресурс работы детали будет продлён, так как её износ достигнет своего предельного значения $I_{\text{пр}}$ уже позднее — в момент времени $t_3 > t_{\text{кр}}$.

Следует отметить сложность учёта двух очень важных и противоречивых факторов при определении необходимости, целесообразности и назначении проведения ремонта с разборкой и сборкой сопряжения. Первый фактор отмечает вредное влияние разборки электрооборудования на процессы износа деталей и узлов. Он свидетельствует о том, что любое вмешательство в заводское оборудование для проведения ремонта с разборкой и сборкой сопряжения деталей и узлов, требует нового периода их приработки, то есть повышенного внимания со стороны персонала, не говоря уже об экономической стороне. С другой стороны, своевременное проведение ремонта (выбор оптимального момента $t_{\text{р}}$) позволяет продлить ресурс работы установленного оборудования и отложить предстоящие затраты на приобретение нового.

Основной количественной характеристикой надежности работы любого технического устройства и способности длительного выполнения возложенной на него функции является интенсивность отказов в единицу времени — число отказов в работе за определенный период.

Отказы электрооборудования принято разделять на конструктивные, технологические и эксплуатационные.

Конструктивные отказы — это результат ошибок и просчетов при разработке конструкции электрических машин и аппаратов, наиболее часто проявляющихся уже в 1-й период эксплуатации электрооборудования.

Технологические отказы электрооборудования обусловлены нарушением технологических процессов изготовления деталей и узлов, они, как правило, также возникают в 1-й период эксплуатации электрооборудования. Примером технологических отказов служат отказы асинхронных электродвигателей, вызванные дефектами стержней короткозамкнутых обмоток роторов из-за несплавления, пустот, трещин и обрывов, возникающих даже при небольших отклонениях от температурного режима заливки короткозамкнутой обмотки.

Эксплуатационные отказы возникают в случаях нарушения правил технической эксплуатации электрооборудования, при несоответствии конструкции электрооборудования условиям внешней среды или режимам работы. Например, несвоевременная замена смазки приводит к отказам подшипниковых узлов электрических машин и выходу их из строя.

Разновидностью эксплуатационных отказов являются износные отказы электрооборудования, которые обусловлены старением материалов изоляционной конструкции, возникновением коррозии, износом рабочих поверхностей деталей и другими причинами. Примером может служить отказ магнитного пускателя в результате износа напаек его контактов.

1.2. Характерные повреждения и дефекты элементов электрических двигателей

Ненормальная работа электрической машины и выход её из строя могут быть вызваны совершенно различными причинами. Значительную часть составляют внешние по отношению к самой машине воздействия. К ним относятся:

- обрыв одного или нескольких проводов питающей сети;
- перегорание плавких вставок предохранителей;
- неисправность пусковой аппаратуры;
- повышенное или пониженное напряжение питающей сети;
- перегрузка машины;
- высокая температура окружающей среды и др.

Многие подобные неисправности могут быть обнаружены по характерным признакам и устранены на месте без разборки и ремонта самой машины.

Неисправности токоведущих и механических частей машины существенно отличаются. В обмотках случаются пробой изоляции на корпус, междувитковые замыкания, обрыв проводов и мест паяк, распайка соединений, неправильные соединения катушек. К механическим неисправностям относятся износ и разрушение подшипников, износ посадочных поверхностей на валу, в щите и корпусе, ослабление крепления полюсов, разрушение бандажей на обмотках роторов, появление трещин в щитах, изгиб и поломка валов.

Изоляция обмоток. Анализ повреждений электрических машин показывает, что изоляция обмоток является одним из наиболее важных элементов конструкции, определяющих работоспособность машин, поэтому техническое состояние изоляции требует его постоянного контроля в процессе эксплуатации.

Характер старения и повреждений изоляции обмоток роторов и якорей электрических машин переменного и постоянного токов во многом аналогичен износам и повреждениям изоляции обмоток статоров.

На основании статистических данных об эксплуатации на промышленных предприятиях около 5,5 тыс. асинхронных двигателей например, установлено, что более 80% всех отказов происходит из-за различных повреждений изоляции обмоток под воздействием электромагнитных сил, вибрации, скрытых дефектов, температуры, окружающей среды и других факторов в процессе эксплуатации [2]. Совместное действие перечисленных выше факторов приводит к необратимым процессам изменения структуры и химического состава изоляции, т. е. к старению изоляции.

В процессе работы на обмотки электрических машин воздействуют электродинамические и механические усилия, достигающие больших значений при пусках и реверсировании. Так, пусковые токи короткозамкнутых электродвигателей превышают номинальные в 5–7 раз, в связи с чем на обмотки действуют значительные электродинамические силы, значения которых пропорциональны квадрату токов. Под действием этих усилий в изоляции возникают трещины, а также механические повреждения.

Большое влияние на ускорение процесса старения изоляции оказывает увлажнение изоляционных материалов, особенно имеющих волокнистую

структурой. Увлажнение является одной из главных причин пробоя изоляции обмоток электрических машин, особенно намотанных проводами с хлопчатобумажной оплеткой, имеющей высокую гигроскопичность. Проникающая в поры и трещины влага значительно снижает электрическую прочность изоляции. При увлажнении загрязненных обмоток резко снижается напряжение пробоя в местах дефектов, и тем самым создаются условия для возникновения дуговых разрядов при сравнительно низких значениях перенапряжений. Проникновение влаги в поры и капилляры изоляции обмоток электрических машин чаще всего происходит в нерабочие периоды, особенно при остыании машин после их отключения. Причем каждое последующее увлажнение изоляции и ее последующее удаление подсушкой во время работы способствуют дальнейшему развитию пор и расслоений изоляции.

При увлажнении изоляции обмоток с уже имеющимися дефектами резко увеличиваются токи утечки через изоляцию, поскольку ее сопротивление снижается в несколько десятков раз. В этих случаях под действием приложенного напряжения через дефекты в изоляции проходит ток, вызывающий ее разрушение, вследствие чего возникает замыкание между витками обмоток или замыкание обмоток на землю. Не устраняет их и пропитка компаундирующими лаками, которая только замедляет процессы увлажнения и подсушки изоляции обмоток. Изоляция электрических машин, имеющая такие дефекты, не восстанавливается, поэтому требуется замена поврежденных обмоток.

Работа АД на двух фазах недопустима как при соединении обмотки в звезду, так и в треугольник, поскольку это приведет к выходу его из строя. Следует помнить, что обмотка заторможенного двигателя на двух фазах перегревается со скоростью примерно $7^{\circ}\text{C}/\text{с}$.

Местный перегрев обмотки статора можно определить по таким признакам: неодинаковый ток в фазах обмотки или двигатель сильно гудит и работает с пониженным вращающимся моментом, что является признаком виткового замыкания в обмотке статора.

Асинхронный двигатель не запускается и издает ненормальный гул чаще всего при обрыве фазы сети или обрыве одной или двух (при соединении треугольником) фаз статорной обмотки, а также при обрывах в двух или трех фазах фазного ротора.

Бывают случаи, когда двигатель плохо разворачивается и издает сильный гул, токи во всех трех фазах различны и превышают номинальное значение даже при холостом ходе, предохранители перегорают. Эта неисправность является следствием неправильного соединения фаз обмотки статора, когда одна из фаз обмотки «перевернута», т. е. конец и начало фазы поменялись местами. Обычно это бывает у двигателей с шестью выводами обмотки статора при утере части бирок, обозначающих начала и концы фаз, или неправильной маркировке фаз.

Двигатель с фазным ротором может устойчиво работать при обрыве в одной из фаз ротора, но при частоте вращения в несколько раз меньшей номинальной.

Двигатель может запускаться без нагрузки при разомкнутой цепи фазного ротора, если в обмотке ротора произошло короткое замыкание между фазами. Под нагрузкой двигатель в этом случае может медленно проворачиваться, но ротор при этой неисправности сильно нагревается.

Пониженная частота вращения двигателя под нагрузкой может быть вызвана перегрузкой двигателя, пониженным напряжением сети, ошибочным соединением фаз обмотки статора звездой вместо треугольника, обрывом в одной из фаз обмотки статора при соединении фаз треугольником, обрывом нескольких стержней в обмотке короткозамкнутого ротора или увеличением сопротивления в цепи фазного ротора.

Двигатель перегревается под нагрузкой при повышенном или пониженном напряжении сети, перегрузке, нарушении вентиляции, соединении фаз обмотки треугольником вместо звезды, замыкании обмотки статора на корпус или между фазами.

Неисправности выводных устройств. Выводы обмоток электродвигателей располагают на клеммной колодке в коробке выводов (рис. 1.2а).

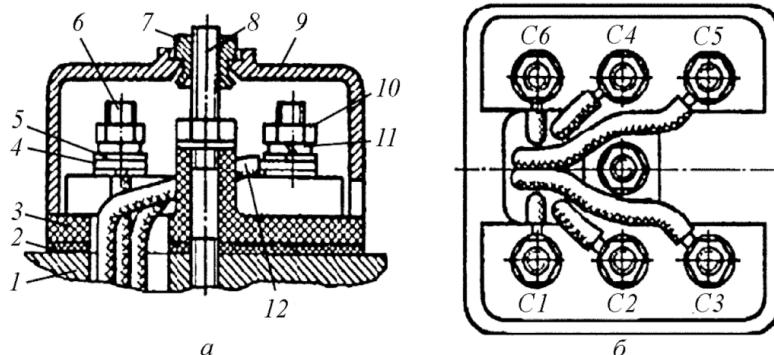


Рис. 1.2
Коробка выводов:

а — продольный разрез, б — вид сверху (без крышки).

К проводу обычно припаивают или напрессовывают наконечник. В микромашинах, где для наконечников не хватает места, жилу гибкого провода изгибают в виде кольца 4, которое надевают на зажим 6 изоляционной колодки 3 и закрепляют гайкой 10 с шайбой 5. Под гайку устанавливают пружинную шайбу 11. Колодку крепят на корпусе 1 шпилькой 8 с гайкой и закрывают крышкой 9, которую притягивают к колодке гайкой 7, нижнюю часть последней после установки в крышку развализывают. Между корпусом и колодкой устанавливают уплотняющую прокладку 2. На колодку наносят обозначения выводов обмоток (рис. 1.2б).

В некоторых электродвигателях колодка зажимов не предусматривается, выводы выполняют гибкими изолированными проводами с наконечниками, маркировку наносят на обжимах, надеваемых на провода. При эксплуатации обжимы могут быть утеряны, поэтому при осмотрах и ремонтах надо следить за их плотным закреплением на выводах.

Одной из причин перегрева контактов может быть слабая их затяжка. В некоторых электродвигателях соединения выполняют таким образом, что ток проходит через резьбу. Это также может явиться причиной обгорания зажимов особенно при больших токах, так как резьба создает ненадежный электрический контакт.

Контактные соединения стараются выполнять таким образом, чтобы наконечники от сетевых проводов ложились непосредственно на выводы обмоток. В этом случае ток проходит только через одно переходное сопротивление, создаваемое контактирующими поверхностями токоведущих деталей. В таком соединении крепежные элементы являются нетоковедущими и могут быть выполнены не из латуни, а из стали, что позволяет увеличить момент затяжки гаек и создать более надежный контакт.

Нередки случаи нарушения контактных соединений в результате повышенной вибрации. Они также приводят к перегреву и обугливанию клеммной колодки. При обнаружении следов перегрева контактных соединений выясняют причину их ненормального состояния, зачищают контактные поверхности на наконечниках и зажимах, проверяют наличие пружинных шайб и гаек.

Магнитопровод. В процессе эксплуатации наблюдается замыкание пластин на корпус и между собой, подгорание и выступание мikanитовой изоляции между пластинами. Замыкание пластин коллектора на корпус наиболее часто наблюдается в электрических машинах старых конструкций при пробое изоляционных конусов, а замыкание между пластинами — при загрязнении коллектора медно-угольной пылью, а также при пробое изоляции между пластинами и при механическом повреждении поверхности пластин. Из-за местного замыкания листов сердечника происходит перегрев фазного ротора.

Большая часть повреждений изоляции обмоток электрических машин имеет место в лобовых частях из-за износа активной стали в процессе работы. Особенно интенсивный износ наблюдается в расточке статоров. Причинами износа активной стали являются коррозия поверхности и наличие в воздушном зазоре пыли, песка и других абразивных частиц. Кроме износа, в условиях эксплуатации электрических машин встречаются вмятины, следы оплавления дугой поверхности и распушение зубцов крайних листов активной стали.

Коллекторы и щетки. Коллекторы относятся к так называемым «слабым» узлам электрических машин. У более 85% обследованных поврежденных якорей наблюдался износ коллектора и только у 10% — повреждение обмотки. Основными неисправностями щеточного механизма являются обгорание или механическое повреждение обойм, потеря пружинами своих свойств, ослабление затяжки в контактных соединениях, наличие трещин в траверсах и повреждение изоляции пальцев щеткодержателей. Из всех деталей щеточного узла наиболее подвержены износу щетки.

Наибольшее влияние на износ коллектора оказывают скорость скольжения и давление щеток на его поверхность, плотность тока в щетках и условия работы (степень искрения, нагрев в контакте и др.).

При чрезмерном нажатии щеток резко увеличивается сила трения между щетками и коллектором, что приводит к повышенному нагреву и износу его поверхности (механический износ).

В случае слабого нажатия щеток между щетками и коллекторными пластинами возникает интенсивное искрение, что приводит к быстрому износу коллекторных пластин (электрический износ).

У коллекторных машин наиболее часто наблюдаются нарушения контактов в местах пайки выводов обмоток к коллектору, в процессе эксплуатации наблюдается отпайка проводов обмотки якоря от коллектора. В основном это бывает из-за чрезмерной вибрации, либо при некачественной пайке проводов во время изготовления электрической машины.

У асинхронных электродвигателей с фазным ротором также есть проблема нарушения контактов в месте присоединения выводов обмоток роторов к контактным кольцам.

Стержни короткозамкнутых обмоток. В короткозамкнутых обмотках роторов асинхронных электродвигателей наиболее часто возникают обрывы и ослабления сечения стержней обмотки. Обследование электродвигателей показало, что 3,8% электродвигателей серий А, АО, А2 и А02 имеют обрывы стержней короткозамкнутой обмотки. Из них 1,05% электродвигателей имеют обрыв одного стержня, 0,55% — двух и 2,2% — трех и более стержней.

Обрывы стержней приводят к возникновению вибрации электродвигателей и выходу их из строя. При обрывах стержней в «беличье» клетке короткозамкнутый ротор перегревается. Двигатель в этом случае издает гул, вибрирует, плохо запускается и не развивает нормальной частоты вращения.

Сравнительно большое число асинхронных электродвигателей имеет ослабленное сечение стержней короткозамкнутой обмотки. Так, по данным обследования электродвигателей 6,8% из них имеют ослабленные сечения одного стержня, 10,5% — двух и 26,3% — трех и более стержней [2]. Обрывы и ослабления сечения стержней возникают из-за нетехнологичной конструкции ротора. Вследствие наличия резких переходов от сравнительно тонких стержней к массивным кольцам и небольшой массы алюминиевого сплава по сравнению с массой пакета ротора, сплав очень быстро охлаждается. Поэтому в стержнях часто возникают ослабления и несплавления, а также вследствие усадки алюминиевого сплава при быстром охлаждении. При заливке в пазы перегретого или окисленного металла возникают трещины в короткозамыкающих кольцах.

Большинство обрывов стержней не выявляется во время контрольных испытаний после изготовления электродвигателей, поэтому процесс эксплуатации электрических машин, состояние обмоток роторов и якорей через определенные периоды времени необходимо контролировать.

Подшипники. В электрических машинах используют шариковые и роликовые подшипники качения и подшипники скольжения, но в преобладающем большинстве электрических машин применяют подшипники качения. Наиболее распространенной причиной выхода из строя подшипников качения является повышенный износ поверхности беговых дорожек и тел качения из-за перегрева и плохой смазки.

Статистические данные и анализ повреждений вращающихся электрических машин свидетельствуют, что износ и выход из строя подшипников, наряду с выходом из строя изоляции обмоток, являются наиболее частыми причинами отказов электрических машин. Например, 20–25% отказов электродвигателей серии А и 10–40% серии АО возникают вследствие повреждений подшипников [2].

При работе подшипников очень важно соблюдать допустимый температурный режим. Предельно допустимая температура подшипников не должна превышать следующих значений:

— для подшипников скольжения — 80°C (температура масла при этом не должна быть более 65°C);

— для подшипников качения — 100°C.

При работе электрических машин смазка в подшипниках стареет и загрязняется пылью и абразивными частицами, которые попадают в подшипник из окружающей среды или с электрической машины (металлическая пыль, продукты коррозии и износа щеток и др.). В наибольшей степени такой износ проявляется в электрических машинах, имеющих щеточный аппарат, коллектор и кольца. Так, в машинах постоянного тока 60–90% всех отказов подшипников происходит со стороны коллектора из-за интенсивного попадания в подшипники пыли, возникающей при трении щеток о поверхность коллектора.

Особенно опасным следствием износа подшипников является вибрация из-за появления неравномерности зазора в электрической машине (рис. 1.3).

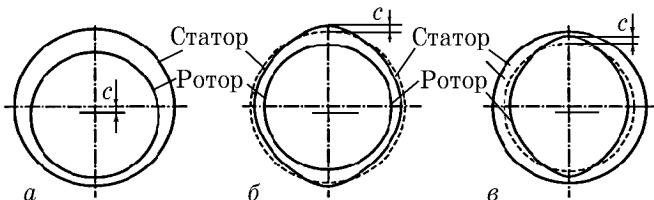


Рис. 1.3

Виды неравномерности зазора в электрической машине:

а — эксцентризитет ротора, б — эллипсность кольца статора, в — эллипсность ротора.

При работе электрических машин генерируется вибрация различной физической природы и формы: моно- и полигармонические, ударно-импульсные и случайные колебания. Возможные причины возникновения вибрации различны, это:

- эксцентризитет ротора;
- осевая несимметрия магнитных полей;
- неуравновешенность вращающихся частей самой электрической машины или приводимого механизма;
- передача вибрации от приводимого механизма;
- обрыв фаз или стержней клетки ротора и пр.

Основными параметрами, характеризующими вибрацию, являются:

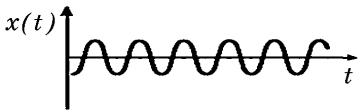
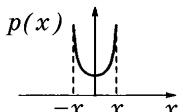
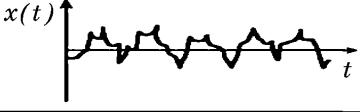
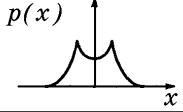
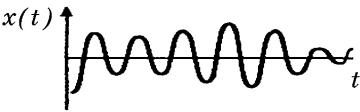
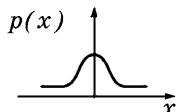
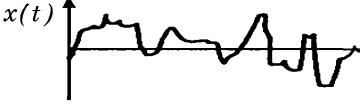
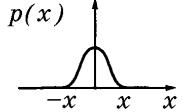
- виброперемещение s [мм, мкм] — описание вибрации;
- виброскорость v [мм/с] — производная виброперемещения во времени;

- виброускорение a [м/с²] — производная виброскорости во времени;
- резкость r [м/с³] — производная виброускорения во времени.

Графическое изображение различных видов вибрации и соответствующие ей плотности распределения приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Графическое изображение разновидностей вибрации и соответствующие ей плотности распределения

Наименование процесса	Графическое обозначение	Плотность распределения
Гармонический		
С шумом		
Узкополосный случайный		
Широкополосный случайный		

Силы, вызываемые вибрацией подшипников, действуют на протяжении всего периода работы электрических машин и приводят к потере механической и электрической прочности изоляции, сокращая её срок службы в несколько раз.

Приведенные выше данные об отказах и характерных дефектах подшипников электрических машин свидетельствуют о том, что подшипники являются элементом электрических машин, требующим периодического контроля технического состояния в процессе эксплуатации.

Повреждение или чрезмерный износ подшипников наиболее часто приводят к задеванию ротора за активную сталь статора и последующему выходу электрической машины из строя. Так, данные обследования технического состояния поступающих в капитальный ремонт ЭД свидетельствуют о том, что до 16% приходится выбраковывать из-за повреждения зубцов активной стали вследствие износа радиальных подшипников [2].

1.3. Повреждения и дефекты синхронных генераторов

Возможные дефекты и неисправности генератора в значительной степени зависят от конструктивных особенностей, а также используемых систем возбуждения, охлаждения и смазки.

Большинство повреждений генератора вызывается нарушением изоляции обмоток статора и ротора. Это обычно происходит из-за старения изоляции, ее увлажнения, наличия в ней дефектов, а также в результате повышения напряжения, перенапряжений, механических повреждений, например из-за вибрации стержней обмоток и стали магнитопровода.

По данным заводов-изготовителей [14] и исследовательских инженерных центров [1], основными причинами повреждений турбогенераторов, влияющих на ресурс машины в целом являются следующие дефекты элементов статора.

Витковые замыкания — опасный вид повреждения, характеризующийся протеканием больших токов в замкнувшихся витках при незначительном изменении тока в неповрежденной части обмотки.

Замыкания на землю — наиболее часто возникающий режим повреждения. В месте замыкания на землю возникает дуга, которая может привести к значительным разрушениям стали статора.

Межфазные КЗ. Достаточно частой причиной их возникновения являются однофазные замыкания из-за нарушения изоляции в лобовых частях обмотки. Возникающие токи могут привести к значительным разрушениям генератора, поэтому требуют немедленного отключения.

Двойное замыкание на землю, одна из точек которого находится в обмотке статора, а вторая — на ошиновке генераторного напряжения.

Повреждения в обмотках статора генератора. Обмотка статора обычно трехфазная, двухслойная с укороченным шагом, стержневая, с транспозицией элементарных проводников. Лобовые части обмотки — корзиночного типа. Укороченный шаг обмотки статора применяется для уменьшения ЭДС высших гармоник. Транспозиция элементарных проводников стержня (изменение их положения по высоте паза на длине активной стали) применяется для снижения потерь в проводниках, вызванных потоками рассеяния. Стержни обмотки статора состоят из элементарных проводников и уложены в 60 пазов сердечника статора.

Витковое замыкание в обмотке статора являются одним из наиболее вероятных и опасных видов повреждения генератора, поскольку оно переходит в замыкание на землю или междуфазное к. з.

Межфазные к. з. сопровождаются прохождением в месте повреждения очень больших токов и образованием электрической дуги, вызывающей выгорание изоляции токоведущих частей обмоток, а иногда и стали магнитопровода статора.

При замыкании на землю обычно возникает дуга, которая может вызвать значительные разрушения стали статора, выжигая ее. Значение тока замыкания определяется емкостной проводимостью фаз обмоток генератора, ошиновки генераторного напряжения и обмоток генераторного напряжения трансформатора.

Конец ознакомительного фрагмента.
Приобрести книгу можно
в интернет-магазине
«Электронный универс»
e-Univers.ru