



Министерство образования Республики Беларусь

**Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»**

Кафедра «Автоматизированный электропривод»

В. В. Тодарев, В. В. Брель, И. В. Дорощенко

РЕМОНТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

ПРАКТИКУМ

для студентов специальностей

1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы»,

1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)»,

1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети»,

1-43 01 07 «Техническая эксплуатация

энергооборудования организацией»

дневной и заочной форм обучения

Гомель 2017

УДК 62-83(075.8)
ББК 31.291я73
Т50

*Рекомендовано научно-методическим советом
факультета автоматизированных и информационных систем
ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 11 от 27.06.2016 г.)*

Рецензент: доц. каф. «Электроснабжение» ГГТУ им. П. О. Сухого
канд. техн. наук *Ю. А. Рудченко*

Тодарев, В. В.
Т50 Ремонт электрических машин : практикум для студентов специальностей 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы», 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)», 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети», 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организацией» днев. и заоч. форм обучения / В. В. Тодарев, В. В. Брель, И. В. Дорощенко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2017. – 27 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц; 32 Mb RAM; свободное место на HDD 16 Mb; Windows 98 и выше; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <https://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Рассмотрены часто встречающиеся неисправности электрических машин. Даны указания по выявлению и устранению неисправностей.

Для студентов специальностей 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы», 1-43 01 03 «Электроснабжение», 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети», 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организацией» дневной и заочной форм обучения.

УДК 62-83(075.8)
ББК 31.291я73

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2017

ВВЕДЕНИЕ

Процессы происходящие в электрической машине взаимосвязаны и сложны и не обладают наглядностью. Часто поиск и устранение неисправностей в электрической машине процесс сложный.

Цель данного практикума – дать указания по выявлению и устранению неисправностей, а также основные сведения по технологии ремонтных работ и применяемых материалов в машинах постоянного и переменного тока, а также трансформаторов подстанций.

Даны рекомендации по выявлению и устранению неисправностей и сушке электрических машин.

Что бы использовать данный практикум студент должен уже знать, конструкцию и принцип работы машины, это поможет разобраться в причинах ее неисправности. Так же студенту необходимо развить умение из признаков неисправного состояния электрической машины выводить заключения об его причинах. В практикуме частично рассмотрены данные вопросы.

МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

1. Искрение под щетками коллектора.

Искрением щеток сопровождается большинство неисправностей в машинах постоянного тока. Поэтому сам по себе этот несомненный признак неисправности в машине.

Электрическая искра, это - переход электрического тока через воздушный промежуток между проводниками. Чем меньше ток и чем меньше воздушный промежуток, тем слабее и незаметнее искра. Электрическая машина спроектирована таким образом, чтобы при ее исправном состоянии и правильной работе заметного искрения не происходило.

Искры могут сжигают медь коллектора и постепенно разрушают его, а также материал щетки от искр быстро сгорает или разрушается. Следовательно, если искры под щеткой большого размера, то либо воздушный промежуток между коллектором и щеткой, либо сила тока стали больше, чем рассчитано конструкцией коллекторно-щеточного узла.

Таким образом все неисправности, вызывающие искрение, можно свести к двум группам:

- увеличение воздушного промежутка между щеткою и пластинами коллектора
- усиление тока, проходящего через щетку.

*Неисправности, вызывающие искрение
вследствие ослабления контакта.*

Когда щетка так плотно прилегает к коллектору, что ее поверхность в каждой своей точке соприкасается с какой-нибудь точкой на поверхности коллектора, тогда контакт между ними равномерен и достигаются наилучшие условия коммутации.

Для этого необходимо, чтобы обе поверхности имели не только совершенно одинаковую кривизну, но и были совершенно гладкими. Поэтому каждую угольную щетку тщательно шлифуют к коллектору, а коллектор обтачивают, шлифуют и полируют до «зеркального блеска».

Но этого не достаточно. Ведь коллектор все время вращается под щетками. Надо добиться того, чтобы не только при неподвижном

коллекторе, но и при его вращении контакт со щеткою ни в одной точке не прерывался и не ослабевал. Достаточно малейшего загрязнения, засорения коллектора, достаточно малейшего дрожания всей машины или какой-нибудь части ее, чтобы щетка начала вибрировать на коллекторе, а тогда между ними возникают небольшие воздушные промежутки и в этих промежутках - искры.

Также, необходимо, чтобы коллектор был совершенно круглым и был отцентрирован, т. е. чтобы его ось совпадала с осью машины и щеточного ярма. Иначе коллектор при вращении «бьет», прижимается к щетке одними своими пластинами сильнее, другими слабее, а тогда щетка вибрирует и искрит.

Нарушение условий хорошего контакта:

1. *Трущаяся поверхность щеток находится в неудовлетворительном состоянии.* Например, у медных щеток она загрязнена, обожжена, зазубрилась; у щеток угольных - изборождена желобками, куда набилась медная пыль, обломана по краям или плохо пришлифована.
2. *Трущаяся поверхность коллектора находится в неудовлетворительном состоянии.* Например: шероховата (исцарапана ребрами щеток, обожжена искрами); волниста (прорыта желобками под щетками); над медными пластинами коллектора выступают края слюдяных прокладок, которыми они разобщены.
3. *Трущаяся поверхность коллектора загрязнена или засорена.* Загрязнить ее могут прежде всего угольные щетки, когда они слишком мягки, потому что они крошатся и покрывают коллектор липкою угольной пылью. Загрязняется также коллектор излишнею смазкою, постепенно образует изолирующий слой, пробиваемый искрами. При недостаточном уходе коллектор постепенно засоряется медною, угольной и другою пылью. Так же когда помещение содержит кислотные пары или газы, то медные пластины коллектора химически разлагаются, и он покрывается слоем окиси, даже если машина не работает.
4. *Щетки слишком слабо прилегают к коллектору,* оттого что не подтянуты нажимные пружины.
5. *Коллектор дрожит:* заодно с машиною; потому что расшатан. Связь между его пластинами может постепенно ослабеть, потому что расшатываются винты зажимного кольца

или потому что размягчается изолирующий материал между пластинами и втулкой коллектора.

6. *Щетки дрожат*: заодно с машиною; с какой-нибудь частью щеточного аппарата. Расшататься может все щеточное ярмо, один из его болтов, щеткодержатель на болте, щеточный зажим в щеткодержателе, да и сама щетка в зажиме.
7. *Коллектор «бьет»*: заодно с якорем и валом; сам по себе. Заодно с якорем коллектор бьет, когда сработались подшипниковые вкладыши или когда осела подшипниковая стойка, расположенная не на общей фундаментной плите с машиною.

*Неисправности, вызывающие искрение
вследствие усиления тока.*

Рассмотрим теперь причины, по которым может усиливаться проходящий через щетку ток. Каждая пара щеток имеет, как известно, назначением соединять с внешнею цепью через чередующиеся пластины коллектора две или несколько параллельных цепей последовательно включенных проводников. В любой миг обмотку якоря можно представлять себе, как электрическую цепь из двух или нескольких параллельных ветвей последовательно включенных гальванических элементов. Чередование коллекторных пластин под щетками переводит по одному элементу каждого ряда поочередно в другой, параллельный первому, ряд, изменяя в то же время направление тока в переводимом элементе.

Обратим внимание на чередование пластин. Когда при вращении якоря и коллектора из-под щетки выходит одна пластина, и на смену ей под щетку входит следующая, то на некоторое время щетка замыкает накоротко часть обмотки, подведенную к этим пластинам. Проводники, образующие эту часть обмотки, должны проходить в через нейтральную зону, то есть через такое место между полюсами, где бы они не пересекали силовых линий, а лишь скользили вдоль них. Только тогда в короткозамкнутой цепи не возникнет электродвижущая сила и не потечет большой ток из-за малого сопротивления.

*Искрение как следствие усиления
рабочего тока.*

1. *Машина перегружена*: умышленно; вследствие значительной утечки тока (плохой изоляции) во внешней сети; вследствие чрезмерного трения в машине.

2. *Напряжение слишком низко вследствие ослабления магнитного поля*, которое может произойти: из-за уменьшения числа оборотов у двигателя; ослаблен ток возбуждения, например, в его цепи по ошибке оставлено слишком большое регулирующее сопротивление или некоторые магнитные катушки неправильно включены.

2. Чрезмерное нагревание.

Самая заметная неисправность в машине постоянного тока, это - искрение, оттого что оно воспринимается визуально. Но современные машины, особенно машины с добавочными полюсами или с компенсационной обмоткой, проектируются, с таким незначительным поперечным полем якоря, что многие неисправности не приводят к искрению. Поэтому важно обращать внимание на чрезмерное нагревание, различая при этом:

- а) нагревание коллектора;
- б) нагревание якоря;
- в) нагревание магнитных катушек полюсов.

Нагревание коллектора.

Если щетки во время, работы искрят то прежде всего можно объяснить нагревание коллектора ослаблением контакта его со щетками. Ведь большое искрение объясняется тем, что в месте перехода медь коллектора и медь (или уголь) щеток, накалившись от теплоты, испускают раскаленные, светящиеся пары. Эта теплота распространяется по всему коллектору и нагревает его. Подобным же образом, чем сильнее ток, проходящий через коллектор, тем больше он нагревает его.

Одни и те же неисправности могут вызывать искрение и нагревание коллектора, при чем иногда вызывают только нагревание коллектора, не доводя щетки до искрения.

Еще одна неисправность - слишком сильный нажим щеток, при котором коллектор нагревается от чрезмерного трения.

Нагревание якоря.

По мимо выше перечисленных причин нагревания якоря (из-за большого тока в медной обмотке якоря), якорь может нагреться от повышенного перемагничивания железа и от повышенных токов Фуко. А также причины:

- пониженная скорость машины. Она увеличивает ток возбуждения
- неправильное соединение магнитных катушек, т.е. параллельное вместо последовательного.

Нагревание магнитных катушек полюсов.

Чтобы нагрелись магнитные катушки полюсов, нет необходимости в усилении магнитного поля; достаточно, чтобы увеличился ток возбуждения.

3. Электродвигатель не запускается.

1. Неправильное соединение магнитных полюсов друг с другом
2. Неправильно включен пусковой реостат
3. Короткое замыкание через корпус машины (перегорают предохранители)
4. Короткое замыкание или разрыв в якорной обмотке, когда по якорной обмотке вообще не может проходить ток; обычно выражаются в искрении, нагревании и замедленном, толчкообразном ходе.
5. Обрыв цепи возбуждения. Если это повреждение происходит во время работы двигателя и якорь ненагружен двигатель может пойти в «разнос».
6. Неправильное включение пускового реостата.
7. Двигатель уже при запуске перегружен и не может развить достаточно большое вращающее усилие (пусковой момент) для преодоления перегрузки.

АСИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ

ОПИСАНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ.

1. Активная сталь статора равномерно перегрета, хотя нагрузка двигателя не превышает номинальной.

Напряжение сети выше номинального.

Снизить напряжение сети до номинального.

2. Наблюдается повышенный местный нагрев активной стали при холостом ходе двигателя и номинальном напряжении сети.

Между отдельными листами активной стали имеются местные замыкания вызванные заусенцами.

Удалить заусенцы; обработать места замыкания острым напильником;

3. Двигатель не запускается.

Отсутствует ток в статоре, что объясняется перегоранием предохранителей или выключением автоматического выключателя.

4. Двигатель не запускается или работает толчками. В одной фазе статора нет тока.

Обрыв одной из фаз сети или внутренний обрыв в обмотке статора.

Если обрыв фазы происходит во время работы двигателя, то последний может продолжать работать с номинальными вращающим моментом, но скорость вращения сильно понижается.

5. Двигатель с фазным ротором запускается при разомкнутой цепи ротора.

Короткое замыкание в роторе.

6. При номинальной нагрузке двигатель вращается со скоростью, не достигающей номинальной.

а. Напряжение на зажимах двигателя понижено.

Повысить напряжение до номинального или, если это невозможно, уменьшить нагрузку во избежание перегрева двигателя.

б. Плохой контакт в цепи ротора

7. Двигатель работает устойчиво при половине номинальной скорости вращения и сильно гудит, особенно при пуске. Будучи разогнанным до номинальной скорости, он

продолжает работать нормально, но при повышении нагрузки скорость вновь падает до половины номинальной.

Обрыв в одной фазе ротора.

Определить при помощи мегомметра или контрольной лампы место обрыва и устранить его.

8. Двигатель плохо идет в ход и сильно гудит; сила тока во всех трех фазах различна и при холостом ходе двигателя превышает номинальную.

Одна фаза обмотки статора «перевернута» .

Это больше частью случается у двигателей, имеющих шесть выводов обмотки; причина - в неправильном соединении между собою выводов.

9. Во время работы двигателя происходит задевание ротора за статор.

Нарушена правильность зазора между статором и ротором.

Вследствие износа вкладышей подшипников, смещения подшипниковых щитов, неправильной установки подшипниковых стоячков, деформации стали статора или ротора, изгиба вала.

10. Двигатель сильно гудит. Сила тока во всех фазах различна. Нагрев обмотки статора неравномерен.

Короткое замыкание в обмотке статора.

Обмотки статора соединены неправильно.

Число витков в отдельных катушках обмотки статора неодинаково.

11. Двигатель с короткозамкнутым ротором не достигает нормальной частоты вращения, а «застревает» и начинает устойчиво работать при низкой частоте вращения, которая в несколько раз меньше номинальной.

Отклонение формы кривой распределения магнитной индукции в зазоре от синусоиды.

Основной причиной этих отклонений является неправильное сочетание чисел пазов статора и ротора для данного числа полюсов. При этом в кривой магнитной индукции появляются так называемые высшие гармоники индукции 5, 7, 11, 13-го и т.д. порядка (несинусоидальную кривую можно представить состоящей из основной синусоиды — первого порядка и синусоид высшего порядка, имеющих частоты, в 5, 7, 11 и т. д. раз превышающие основную). Указанные гармоники создают поля, вращающиеся в пространстве с частотой вращения, меньшей (в 5, 7, 11 и т.д. раз), чем частота вращения маг-

нитного поля от основной гармоники. Вращающие моменты, создаваемые высшими гармониками, искажая форму кривой момента, могут оказать тормозящее действие на двигатель при его разгоне.

- 12. Двигатель хорошо идет в ход и хорошо работает с номинальной нагрузкой, но сила тока в фазах различна (в одной фазе на 73 % больше, чем в двух других фазах) и частота вращения ротора ниже номинальной. Обмотка одной фазы статора остается холодной.**

Внутренний обрыв в одной фазе обмотки статора при соединении фаз треугольником.

Вследствие этого получается открытый треугольник и двигатель хорошо идет в ход. Но так как работают только две фазы, то мощность двигателя понижается на 1/3. Нагревание двигателя при этом зависит от нагрузки и может остаться в пределах.

Найти место обрыва, если оно внутри катушки, то заменить последнюю новой или перемотать ее.

- 13. Двигатель плохо идет в ход и сильно гудит; сила тока во всех трех фазах различна и при холостом ходе двигателя превышает номинальную.**

Одна фаза обмотки статора «перевернута».

Это большей частью случается у двигателей, имеющих шесть выводов обмотки; причина — неправильное соединение между собой выводов на доске зажимов или неправильная маркировка выводов.

- 14. Во время работы двигателя происходит задевание ротора за статор.**

Нарушена правильность зазора между статором и ротором вследствие износа вкладышей подшипников, смещения подшипниковых щитов, неправильной установки подшипниковых стояков, деформации стали статора или ротора, изгиба вала.

Проверить зазор между шейками и вкладышами и в случае необходимости вкладыши заменить на новые. Выверить зазор между ротором и статором. При отсутствии установочных штифтов в подшипниковых стояках поставить их; при деформации стали статора опилить ее острым напильником, избегая, однако, при этом образования заусенцев. При деформации стали ротора обточить его или отшлифовать наждачным кругом; проверить вал.

Ротор плохо отбалансирован.

Отбалансировать ротор (см. [1]).

СИНХРОННЫЕ МАШИНЫ

1. Обмотка статора равномерно перегрета.

Перегружен генератор или перегрета активная сталь статора.

2. Часть обмотки статора перегрета. Междофазные напряжения неодинаковы. Генератор сильно гудит и из него показывается дым.

Междувитковое соединение, короткое замыкание между двумя фазами или замыкание на землю в двух местах обмотки статора.

Если своевременно не отключить генератор от сети и не снять возбуждения, то может произойти пожар.

3. Обмотка возбуждения нагрета выше нормы. Ток возбуждения больше номинального.

Генератор работает с повышенным против номинального напряжением или скорость вращения ниже номинальной.

4. Перегреты ребра и поперечные стенки корпуса статора, нажимные плиты статорной стали и шпонки крепления плит.

В машине имеются блуждающие токи, вызываемые магнитными потоками, выходящими за пределы активной стали статора. Блуждающие токи появляются при большом насыщении активной стали статора.

5. Наличие напряжения только между двумя фазами при холостом ходе генератора.

Возбуждение исправно, но в обмотке статора получается напряжение только между двумя фазами. Обрыв в одной фазе обмотки статора при соединении звездой или обрыв в двух фазах обмотки при соединении треугольником.

6. Понижение напряжения при холостом ходе генератора

Возбудитель не дает номинального напряжения.

Скорость вращения генератора ниже номинальной.

Напряжение генератора при номинальной скорости вращения и номинальном токе возбуждения меньше номинального..

7. Напряжение генератора при работе с нагрузкой и при холостом ходе постоянно колеблется. Скорость вращения постоянна.

Плохой контакт в цепи возбуждения.

8. При работе двигателя происходят колебания (качания) ротора, обнаруживаемые по колебаниям стрелок амперметра и ваттметра в цепи статора. Никаких неисправностей в двигателе найти не удастся. Колебания могут быть столь сильными, что двигатель выпадает из синхронизма.

Слишком быстро изменяется нагрузка.

Колебания передаются от приводимых механизмов, например, поршневых компрессоров, насосов и пр.

Сильно колеблются напряжение и частота сети.

9. Двигатель выпадает из синхронизма. Причины, указанные в п.8, отсутствуют.

Двигатель перегружен.

МЕХАНИЧЕСКИЕ НЕИСПРАВНОСТИ ВРАЩАЮЩИХСЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН.

1. Дрожание корпуса машины.

1. *Слабина фундаментных болтов* - наиболее частая причина этого дрожания. Болты ослабевают от продолжительной работы. Периодически необходимо их подтягивать.

2. *Чрезмерное натяжение ремня на шкиве* изгибает вал, а по этому вызывает дрожание машины. Ремень нужно ослабить. Если он после этого станет скользить, то надо проверить передаточное число, (отношение диаметров ведущего и ведомого шкивов). Это отношение должно быть не больше 1:6. Если оно оказывается больше, то надо прибегнуть к натяжному ролику, или к зубчатой, или к промежуточной передаче. Вал, уже изогнувшийся, лучше всего заменить новым - попытки выпрямить его обычно бесполезны, обточка помогает редко.

3. *Недостаточная уравновешенность вращающихся частей* - якоря, шкива, соединительной муфты и т.п. Это - ошибка завода-поставщика. Предположить ее можно в том случае, когда машина продолжает дрожать несмотря на устранение неисправностей п.1 и п.2.

2. Чрезмерное нагревание подшипника.

Температура подшипника не должна превосходить 70° С. Из числа неисправностей, вызывающих чрезмерное трение в подшипнике и превышение этой температуры, одни находятся в самом подшипнике, и причина их - плохая его конструкция или плохой уход за ним, а другие объясняются причинами, вне подшипника.

Прежде всего, изгиб вала - вызывает не только дрожание машины, но и нагревание подшипника. Далее отметим:

4. *Неисправное состояние шеек вала*. Они могут быть изношены или поцарапаны. Их нужно обточить и отшлифовать наждачной бумагой.

5. *Несовпадение осей подшипников вследствие неточной установки*. Надо проверить и выровнять их установку, а вкладыши пришабрить.

Главные неисправности в самом подшипнике, таковы:

6. *Смазка недостаточна:* а) взят неподходящий сорт масла; б) масло засорено пылью; в) во вкладышах засорены или слишком узки канавки для смазки.

Хорошее машинное масло должно быть не слишком густо и вместе с тем достаточно вязко. Поэтому, например, трансформаторное масло не годится для подшипников - оно недостаточно вязко; не годится и цилиндрическое - оно слишком густо. Но постепенно густеет и делается смолистым всякое масло. Его нужно от времени до времени заменять свежим.

Когда масло слито, необходимо промыть подшипник керосином, продолжая промывку до тех пор, пока не начнет выливаться совершенно чистый керосин. Только тогда можно налить свежего масла. Следует предохранить подшипник от попадания пыли, в случае надобности уплотнив его крышку.

Засоренные или слишком узкие канавки для смазки надо прочистить или увеличить.

7. *Вкладыши неисправны:* а) сработались; б) слишком тесны для шеек вала; в) слишком туго затянуты; г) их поверхность исцарапана или засорена.

ТРАНСФОРМАТОРЫ

1. Перегрев трансформатора.

Трансформатор перегружен.

Проверить режим нагрузки. У трансформатора с постоянной нагрузкой можно установить перегрузку по амперметру; у трансформаторов с неравномерным графиком нагрузки - путем снятия суточного графика тока.

Следует учесть, что трансформаторы допускают нормальные перегрузки, зависящие от графика нагрузки, температуры окружающей среды и недогрузки в летнее время. Кроме того, в исключительных случаях (отсутствие резерва) допускаются аварийные перегрузки трансформатора вне зависимости от предшествующей нагрузки и температуры окружающей среды (ГОСТ 14209—85).

Слишком высока температура в трансформаторном помещении.

Измерить температуру воздуха в трансформаторном помещении на расстоянии 1,5-2 м от бака трансформатора на середине его высоты. Если эта температура превышает более чем на 8—10°C температуру наружного воздуха, улучшить вентиляцию трансформаторного помещения. Для обеспечения нормальной вентиляции трансформаторных помещений, в которых установлены трансформаторы мощностью 1000 кВА и выше, применяют специальные вытяжные трубы, устанавливаемые наверху помещения, а внизу его делают соответствующие отверстия для подвода холодного воздуха. Входные и выходные отверстия закрывают решетками или жалюзи. Обычно вентиляцию трансформаторных помещений рассчитывают так, чтобы разница между температурами входящего воздуха (внизу) и выходящего (вверху) не превышала 15°C.

Слишком низок уровень масла в трансформаторе.

В этом случае обнаженная часть обмотки и активной стали сильно перегревается. Убедившись в отсутствии течи масла из бака, долить масло до нормального уровня.

В трансформаторе имеются внутренние повреждения: замыкания между витками, фазами, образование короткозамкнутых контуров из-за повреждения изоляции болтов, стягивающих активную сталь трансформатора, замыкания между листами активной стали.

Все эти дефекты при незначительных короткозамкнутых контурах, несмотря на высокую местную температуру, не всегда дают заметное повышение общей температуры масла. Лишь бурное развитие этих повреждений ведет к быстрому росту температуры масла.

2. Ненормальное гудение в трансформаторе.

Ослабла прессовка шихтованного магнитопровода.

Подтянуть прессующие болты.

Нарушена прессовка стыков в стыковом магнитопроводе.

С течением времени под влиянием вибрации магнитопровода ослабла затяжка вертикальных болтов. Это изменило зазоры в стыках, что и вызвало усиленное гудение.

Трансформатор перегружен, или нагрузка фаз отличается значительной несимметричностью.

Устранить перегрузку или уменьшить несимметрию нагрузки.

3. Потрескивание внутри трансформатора.

Произошло перекрытие (но не пробой) между обмоткой или отводами и корпусом вследствие перенапряжений.

Осмотреть и отремонтировать обмотку.

Обрыв заземления.

Как известно, активная сталь и все прочие детали магнитопровода в трансформаторе заземляются (т. е. соединяются с землей через крышки трансформатора и бак) для отвода в землю статических зарядов, появляющихся на этих частях (обмотка и металлические части магнитопровода, по существу, являются обкладками конденсатора). При обрыве заземления могут происходить разряды обмотки или ее отводов на корпус, что воспринимается как треск внутри трансформатора. Восстановить заземление в полном соответствии с выполнением его заводом-изготовителем; присоединить заземление в тех же точках и с той же стороны трансформатора (обычно со стороны выводов обмотки низшего напряжения).

4. Пробой обмоток.

Возникли перенапряжения, связанные с грозовыми явлениями, аварийными или коммутационными процессами.

Резко ухудшилось качество масла (увлажнение, загрязнение и пр.).

Понизился уровень масла.

Изоляция подверглась естественному износу (старению).

При внешних коротких замыканиях, а также при замыканиях внутри трансформатора возникли электродинамические усилия.'

При перенапряжениях могут происходить не пробой изоляции, а только перекрытия между обмотками, фазами или между обмоткой и корпусом. В результате перекрытия обычно происходит лишь оплавление поверхности нескольких витков и появляется копоть на соседних витках, полное же соединение между витками, фазами или же между обмоткой и корпусом отсутствует.

Пробой изоляции обмотки можно обнаружить мегомметром. Однако в некоторых случаях, когда в результате перенапряжений получаются оголенные места на обмотке в виде точек (точечный разряд), выявить дефект можно только, испытав трансформатор напряжением (приложенным или индуктированным).

Отремонтировать обмотку, а в случае надобности заменить масло.

5. Обрывы в обмотках. В результате обрыва или плохого контакта происходит оплавление или выгорание части проводника. Дефект обнаруживается по выделению горячего газа в газовом реле и работе последнего на сигнал или отключение.

Плохо выполнена пайка обмотки.

Имеются повреждения в проводах (отводах), соединяющих концы обмоток с выводами.

При коротких замыканиях как внутри, так и вне трансформатора развиваются электродинамические усилия.

На включенном трансформаторе обрыв можно обнаружить по показаниям амперметров. На отключенном трансформаторе для обнаружения обрыва используют метод замера сопротивлений обмоток по фазам мостом постоянного тока или метод амперметра - вольтметра.

6. Ненормальное вторичное напряжение трансформатора. Первичные напряжения одинаковы; вторичные напряжения одинаковы при холостом ходе, но сильно разнятся при нагрузке.

Плохой контакт в соединении одного из зажимов или внутри обмотки одной из фаз.

Обрыв в первичной обмотке трансформатора стержневого типа, соединенного по схеме треугольник - звезда или треугольник - треугольник.

7. Первичные напряжения одинаковы; вторичные напряжения неодинаковы при холостом ходе и при нагрузке.

Вывернута обмотка (перепутаны начало и конец обмотки) одной из фаз вторичной обмотки при соединении звездой.

Обрыв в первичной обмотке трансформатора, соединенного по схеме звезда - звезда. В этом случае три линейных вторичных напряжения не равны нулю.

Обрыв во вторичной обмотке трансформатора при соединении его по схеме звезда — звезда или треугольник — звезда.

В этом случае только одно линейное напряжение не равно нулю, а два других линейных напряжения равны нулю. При схеме соединения треугольник - треугольник обрыв во вторичной цепи можно установить лишь путем измерения или же по нагреву обмоток: обмотка фазы, имеющей обрыв, будет холодной из-за отсутствия в ней тока. В последнем случае возможна временная эксплуатация трансформатора при токовой нагрузке вторичной обмотки, составляющей 58 % номинальной.

8. Неравномерная нагрузка параллельно работающих трансформаторов

Параллельно включенные трансформаторы (соединенные параллельно на сторонах низшего и высшего напряжения) имеют неодинаковый коэффициент трансформации.

В этом случае между ними протекает уравнивающий ток; при нагрузке трансформатор с более высоким вторичным напряжением (при холостом ходе) примет на себя большую (в процентном отношении) нагрузку.

Параллельно включенные трансформаторы имеют различные напряжения короткого замыкания.

В этом случае нагрузка между ними распределяется пропорционально их номинальным мощностям и обратно пропорционально напряжениям короткого замыкания. Параллельное включение трансформаторов с нетождественными группами соединения обмоток равносильно короткому замыканию.

Соблюдение следующих условий параллельной работы трансформаторов обеспечивает практически равномерное распределение нагрузки: а) равенство (в пределах допусков) коэффициентов трансформации ($\pm 1\%$ для трансформаторов с коэффициентом трансформации, меньшим 3, и $\pm 0,5\%$ для прочих); б) равенство (в пределах допусков) напряжений короткого замыкания ($\pm 10\%$ для всех трансформаторов); в) тождественность групп соединения обмоток; рекоменду-

ется также, чтобы у параллельно соединенных трансформаторов отношение наибольшей мощности к наименьшей не превышало 3:1.

Включение трансформатора на параллельную работу после его монтажа, капитального ремонта со сменой обмоток или после прокладки нового кабеля допустимо лишь после фазировки.

9. Неисправности переключателей напряжения.

Рассматриваются переключатели, предназначенные для регулировки коэффициента трансформации при отключенном трансформаторе.

Оплавлены или полностью выгорели контактные поверхности (стержни и кольца).

Неудовлетворительная конструкция переключателя не обеспечивает необходимого нажатия контактов (это относится главным образом к переключателям устаревших типов).

Переключатель плохо собран.

Токи короткого замыкания оказывают термическое действие.

Значительное оплавление или выгорание контактных частей переключателя может привести к порче масла и срабатыванию газовой защиты. При незначительном повреждении контактных поверхностей можно ограничиться зачисткой оплавленных мест пилой и тщательной шлифовкой наждачным полотном. При значительных оплавлениях рекомендуется заменить переключатель новым. В зависимости от конструкции переключателя и дефектов его сборки возможен ряд других неисправностей, могущих вызвать аварию трансформатора.

Чтобы своевременно выявлять неисправности переключателей, рекомендуется периодически измерять омическое сопротивление обмоток на всех ответвлениях.

10. Течь масла.

Нарушена плотность сварных швов бака трансформатора, волнистых стенок бака с дном, в местах заделки труб в стенку бака, радиаторов в местах сварки и пр.

Места течи подварить ацетиленовой сваркой. До сварки бака масло из него слить, магнитопровод трансформатора вынуть, радиаторы снять с бака.

По окончании сварки бак испытать водой в течение 1-2 ч под давлением столба воды высотой 1,5 м над уровнем масла в расширителе. Для этого бак заполняют водой, а в крышку герметически закрытого бака ввинчивают трубу длиной 1,5 м, диаметром от 3/4 до 1

дюйма, снабженную наверху воронкой, через которую производят окончательное заполнение бака и трубы водой. Испытывать бак можно и маслом.

Незначительную течь масла можно устранить чеканкой.

Между крышкой и баком трансформатора имеются неплотные соединения.

Подтянуть болты, крепящие крышку. Если это не поможет, установить новое уплотнение.

Имеются неплотности в установке вводов.

Течь масла между опорными фланцами и крышкой трансформатора устранить подтяжкой болтов или заменой прокладки новой. Просачивание масла в армировке опорного фланца в том случае, если фарфор имеет бортик, устранить армированием ввода в новый фланец и установкой резиновой прокладки между верхом фланца и опорной поверхностью фарфора. Если фарфор старого типа (без бортика, резиновой или пробковой прокладки), то необходимо заменить ввод.

Если масло просачивается через армировку верхнего колпачка, заменить ввод. Просачивание масла вверх по шпильке устранить подмоткой под нижнюю гайку асбестового шнура, пропитанного лаком.

СУШКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Электрические машины подлежат сушке после окончания монтажа или в том случае, если понизилось сопротивление изоляции их обмоток в результате длительного бездействия. В первом случае сушка обязательна и тогда, когда сопротивление изоляции обмоток относительно корпуса, а также между изолированными друг от друга обмотками оказывается удовлетворительным. Объясняется это тем, что высокое сопротивление изоляции относительно корпуса еще не гарантирует такого же высокого сопротивления изоляции между витками.

Критерием сухости изоляции может служить наряду со значением сопротивления изоляции также отношение значений сопротивления изоляции при различной длительности приложения напряжения.

Цель сушки - удалить влагу из обмотки машины. Удаление влаги из изоляции обмотки происходит за счет так называемой термической диффузии, вызывающей перемещение влаги в направлении потока тепла, т. е. от более нагретой части к более холодной. Перемещение влаги происходит вследствие перепада влажности в разных слоях изоляции: из слоев с большей влажностью влага перемещается в слои с меньшей влажностью. Перепад влажности создается перепадом температуры.

Чем больше температурный перепад, тем интенсивнее происходит сушка. Поэтому, нагревая внутренние части обмотки (например, током), можно создать перепад температуры между внутренними и внешними слоями изоляции и тем ускорить процесс сушки. Температурный перепад можно создать также быстрым периодическим охлаждением наружных слоев изоляции путем периодического продувания холодного воздуха и последующего повторного нагревания. Подобными приемами можно пользоваться при сушке сильно увлажненных обмоток.

Сушка электрических машин может производиться различными методами: внешним нагреванием, нагреванием током от постороннего источника, током короткого замыкания, вентиляционными потерями, потерями в активной стали или корпусе машины и др. В тех случаях, когда одним каким-либо методом не удастся получить необходимую температуру сушки или же когда нагрев отдельных частей получается неравномерным, применяют комбинированный метод сушки, представляющий собой сочетание двух каких-либо методов.

Выбор метода сушки зависит главным образом от местных условий, имеющихся возможностей и в некоторых случаях от степени увлажненности изоляции. Наиболее интенсивной сушкой сильно увлажненных обмоток является сушка током, при которой внутренние слои изоляции нагреваются сильнее наружных. Однако сушка током, пропускаемым по обмотке с сильно увлажненной изоляцией, может привести к вспучиванию последней, а сушка такой обмотки постоянным током может оказать и электролитическое действие. Поэтому в подобных случаях рекомендуется сушку производить другими методами, например потерями в активной стали, методом внешнего нагрева и т. д. После предварительной подсушки этими методами можно применить сушку током.

Перед сушкой надо очистить машинное помещение от пыли, грязи и мусора, машину осмотреть и продуть сжатым воздухом. Перед сушкой током необходимо проверить все контактные части, а если эта сушка связана с вращением машины, то и зазоры между ротором (якорем) и статором (полюсами) и в подшипниках. Корпус машины следует заземлить. Во время сушки машину надо вентилировать - это ускоряет процесс сушки. Однако слишком сильная вентиляция препятствует нагреванию до необходимой температуры.

Чтобы избежать излишней потери тепла во время сушки, машину следует защищать снаружи от окружающего воздуха, но сохранить при этом вентиляцию, способствующую удалению влаги. Для этой цели машину открытого типа обшивают досками, покрывают брезентом и т. п. В наиболее высоком и наиболее низком местах обшивки (или брезента) делают вентиляционные отверстия, обеспечивающие непрерывность вентиляции. В машинах закрытого типа следует открыть смотровые люки (в станине, в щитах и т. п.).

В процессе сушки температуру обмоток и стали измеряют термометрами, установленными в нескольких местах. В машинах с замкнутой или проточной вентиляцией термометры устанавливают также на входе и выходе воздуха. Если внутри машины заложены температурные детекторы, то ими можно пользоваться вместо термометров.

Температуру обмоток можно определять также по методу сопротивления. Наивысшая температура во время сушки в наиболее горячем месте обмотки или стали не должна превышать: по термометру 80°C , по методу сопротивления 100°C , по температурному детектору 90°C .

При сушке машин с проточной вентиляцией температура выходящего воздуха из машины не должна превышать 65°C.

Настоящие рекомендации по предельным температурам можно скорее всего отнести к обмоткам статоров высоковольтных электрических машин с изоляцией класса А и невыпечной изоляцией класса В.

В отдельных случаях при необходимости сокращения времени сушки указанные температуры могут быть повышены на 10-15 °С. При современной технологии монтажа статорных обмоток с термообработкой изоляции лобовых частей и деталей крепления статорной обмотки температуру сушки (термообработки) доводят и до 120-130°C.

Нагревать обмотку и сталь нужно постепенно — при быстром нагревании температура внутренних частей машины легко может достигнуть опасного значения, в то время как нагрев наружных частей будет еще незначительным. Кроме того, разница в постоянных времени нагрева и в коэффициентах линейного расширения обмотки и активной стали, а также и конструктивных частей машины может при быстром нагреве послужить причиной повреждений (разрывов) изоляции и механически повреждений станин, роторов и пр.

При сушке крупных машин, например турбогенераторов и прокатных двигателей, скорость нагрева должна быть такой, чтобы температура 50 °С (по термометру) обмотки и стали или температура выходящего воздуха 40 °С были достигнуты не ранее 20-30 ч с момента начала сушки, а наивысшая температура - не ранее чем через 40-50 ч.

При сушке током необходимая скорость подъема температуры достигается либо постепенным ступенчатым повышением тока, либо временным отключением его. Увеличивать ток надо лишь после того, как температура обмоток установилась.

Во время сушки необходимо также измерять сопротивление изоляции всех обмоток машины, а при сушке током - и значение тока. В процессе сушки ведут протокол и вычерчивают кривые зависимости сопротивления изоляции и температуры обмоток от времени сушки. Эти кривые облегчают суждение об успешности сушки. Измерения производятся в начале сушки через 20-30 мин, а при достижении установившейся температуры - через час. Измерения температуры и сопротивления изоляции продолжаются до полного охлаждения машины. Если машину сушат током, то на время измерения сопротивле-

ния изоляции ток необходимо выключать. В этом случае измерения сопротивления изоляции можно производить каждые два-три часа.

Если ротор синхронной машины в процессе сушки питается от своего возбудителя или другого источника, то сопротивление изоляции всей цепи возбуждения можно измерять, не выключая тока — при помощи вольтметра.

Рекомендуемая литература

1. Гемке Р. Г. Неисправности электрических машин/Под ред. Р. Б. Уманцева.- 9-е изд., перераб. и доп.- Л.: Энергоатомиздат., 1989,-336 с: ил.
2. Каминский М. Л. Проверка и испытание электрических машин. М., «Энергия», 1977. (Б-ка электромонтера. Вып. 462). – 404 с.
3. Донилов И.А., Иванов П.М. Общая электротехника с основами электроники. – М.: Высшая школа,1998. – 752 с.
4. Мандельштам И.Б. Болезни электрических машин М. - Л.: Государственное издательство, (Серия: За рабочим станком), 1929 г. - 122 с.
5. Москаленко В.В. Электрический привод. – М.: Мастерство, 2000. – 366 с.
6. Котеленц и др., Испытания, эксплуатация и ремонт электрических машин, Асадема, М., 2003 – 315 с.
7. Антонов М. В., Герасимова Л. С. Технология производства электрических машин. М.: Энергоатомиздат, 1982. - 512 с.
8. Вольдек А. И. Электрические машины. Л.: Энергия, 1978. - 832 с.
9. Иванов-Смоленский А. В. Электрические машины. М.: Энергия, 2008. - 928 с.
10. Зимин В. И., Каплан М. Я., Палей М. М. Обмотки электрических машин.— 7-е изд. Л.: Энергия, 1975. - 288 с.

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
Введение	3
Машины постоянного тока	4
Асинхронные двигатели	9
Синхронные машины	12
Механические неисправности вращающихся электрических машин	14
Трансформаторы	16
Сушка электрических машин	22
Рекомендуемая литература	26

**Тодарев Валентин Васильевич
Брель Виктор Валерьевич
Дорощенко Игорь Васильевич**

РЕМОНТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Практикум

для студентов специальностей

1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы»,

1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)»,

1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети»,

1-43 01 07 «Техническая эксплуатация

энергооборудования организацией»

дневной и заочной форм обучения

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 28.03.17.

Рег. № 78Е.

<http://www.gstu.by>