Автономная некоммерческая профессиональная образовательная организация

 **«УРАЛЬСКИЙ ПРОМЫШЛЕННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ТЕХНИКУМ»**

**МДК 01.04.03 Наладка электрического и электромеханического оборудования**

Учебно-методическое пособие по выполнению самостоятельных работ для студентов по специальности 13.02.11 «Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования»

2016 г.

|  |  |
| --- | --- |
| ОДОБРЕНОцикловой комиссией электроэнергетикиПредседатель комиссии\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Н.А. Шурова«25» августа 2016г. | *УТВЕРЖДАЮ*Заместитель директора поучебной работе АН ПОО «Уральский промышленно-экономический техникум»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Н.Б. Чмель«29» августа 2016 г. |

Организация-разработчик: АН ПОО «Уральский промышленно-экономический техникум»

Составитель: Данилова Е.В., преподаватель АН ПОО “Уральский промышленно-экономический техникум»

Введение

Самостоятельная работа студентов – это процесс активного, целенаправленного приобретения студентами новых знаний, умений без непосредственного участия преподавателя, характеризующийся предметной направленностью, эффективным контролем и оценкой результатов деятельности обучающегося.

Задачами самостоятельной работы являются систематизация и контроль знаний студентов в процессе изучения раздела МДК. Одновременно студентам предоставляется возможность творчески осмыслить и изложить поставленные вопросы по изучаемой дисциплине.

Цель самостоятельной работы состоит не только в проверке знаний студентов, но и в оказании методической помощи при изучении дисциплины в целом. Основной задачей дисциплины является формирование и закрепление у студентов знаний, умений, общих и профессиональных компетенций в области технического обслуживания и ремонта автомобильного транспорта.

Для выполнения самостоятельной работы студент должен изучить учебную литературу в соответствии со списком рекомендуемой литературы.

Самостоятельная работа построена на основе теоретических вопросов, подлежащих изучению в соответствии с рабочей программой по данной дисциплине.

Самостоятельная работа 3 видов

1. докладов и сообщений по теме.

Студентам необходимо подготовить доклад на предложенные темы. Объем 5 листов формата А4, шрифт Times New Roman 14. В содержании доклада рекомендуется использовать рисунки, схемы, картинки и фотографии по данным тематикам.

2.Подготовка презентаций. Максимум 10 слайдов, раскрывающих выбранную Вами тему.

3.Подготовка таблиц, карт, чертежей, схем по заданным темам. Небольшие опорные конспекты раскрывающие тему.

Подготовка конспекта: **Методы испытания изоляции и измерения характеристик изоляционных конструкций.**

Подготовка конспекта: **Методы проверки правильности включения обмоток машин постоянного тока.**

**Вид самостоятельной работы:**

Подготовка опорного конспекта

**Цель:** Углубление ранее изученного материала.

**Контроль:** Проверка конспекта

**Методические рекомендации по составлению конспекта**

Внимательно прочитайте текст. Уточните в справочной литературе непонятные слова. При записи не забудьте вынести справочные данные на поля конспекта;

 Выделите главное, составьте план; Кратко сформулируйте основные положения текста, отметьте

аргументацию автора; Законспектируйте материал, четко следуя пунктам плана. При конспектировании старайтесь выразить мысль своими словами. Записи следует вести четко, ясно.

 Грамотно записывайте цитаты. Цитируя, учитывайте лаконичность, значимость мысли.

Подготовка презентации: **Приборы для контроля фаз.**

**Цель:** Дополнительное изучение практического применения

**Тема:**

1. Цели и задачи правового регулирования автотранспортных отношений
2. Отношения, регулируемые автотранспортным правом
3. Права, обязанности, ответственность сторон
4. Регистрация и допуск автотранспортных средств к эксплуатации
5. Исковое производство
6. Обжалование решений по автотранспортным спорам

**Методические рекомендации по подготовка информационного сообщения**

**Подготовка информационного сообщения** –это вид внеаудиторнойсамостоятельной работы по подготовке небольшого по объему устного сообщения для озвучивания на семинаре, практическом занятии. Сообщаемая информация носит характер уточнения или обобщения, несет новизну, отражает современный взгляд по определенным проблемам.

Сообщение отличается от докладов и рефератов не только объемом информации, но и ее характером – сообщения дополняют изучаемый вопрос фактическими или статистическими материалами. Оформляется задание письменно, оно может включать элементы наглядности (иллюстрации, демонстрацию).

Регламент времени на озвучивание сообщения – до 5 мин.

Затраты времени на подготовку сообщения зависят от трудности сбора информации, сложности материала по теме, индивидуальных особенностей студента и определяются преподавателем. Ориентировочное время на подготовку информационного сообщения – 1ч. 20 мин.

**Методические рекомендации по составлению презентаций. Требования к презентации**

На первом слайде размещается:

название презентации;

автор: ФИО, группа, название учебного учреждения (соавторы указываются в алфавитном порядке);

год.

На втором слайде указывается содержание работы, которое лучше оформить в виде гиперссылок (для интерактивности презентации).

На последнем слайде указывается список используемой литературы в соответствии с требованиями, интернет-ресурсы указываются в последнюю очередь.

**Оформление слайдов**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | необходимо соблюдать единый стиль оформления; |  |
|  | нужно избегать стилей, которые будут отвлекать от самой |  |
| Стиль | презентации; |  |
|  | вспомогательная информация (управляющие кнопки) не должны |  |
|  | преобладать над основной информацией (текст, рисунки) |  |
| Фон | для фона выбираются более холодные тона (синий или зеленый) |  |
|  |  |  |
|  | на одном слайде рекомендуется использовать не более трех цветов: |  |
| Использование | один для фона, один для заголовков, один для текста; |  |
| для фона и текста используются контрастные цвета; |  |
| цвета |  |
| особое внимание следует обратить на цвет гиперссылок (до и после |  |
|  |  |
|  | использования) |  |
|  | нужно использовать возможности компьютерной анимации для |  |
| Анимационные | представления информации на слайде; |  |
| не стоит злоупотреблять различными анимационными эффектами; |  |
| эффекты |  |
| анимационные эффекты не должны отвлекать внимание от |  |
|  |  |
|  | содержания информации на слайде |  |
|  | **Представление информации** |  |
|  |  |  |
|  | следует использовать короткие слова и предложения; |  |
| Содержание | время глаголов должно быть везде одинаковым; |  |
| следует использовать минимум предлогов, наречий, |  |
| информации |  |
| прилагательных; |  |
|  |  |
|  | заголовки должны привлекать внимание аудитории |  |
|  | предпочтительно горизонтальное расположение информации; |  |
| Расположение | наиболее важная информация должна располагаться в центре |  |
| информации на | экрана; |  |
| странице | если на слайде располагается картинка, надпись должна |  |
|  | располагаться под ней. |  |
|  | для заголовков не менее 24; |  |
|  | для остальной информации не менее 18; |  |
|  | шрифты без засечек легче читать с большого расстояния; |  |
| Шрифты | нельзя смешивать разные типы шрифтов в одной презентации; |  |
| для выделения информации следует использовать жирный шрифт, |  |
|  |  |
|  | курсив или подчеркивание того же типа; |  |
|  | нельзя злоупотреблять прописными буквами (они читаются хуже, |  |
|  | чем строчные). |  |
|  | Следует использовать: |  |
| Способы | рамки, границы, заливку |  |
| выделения | разные цвета шрифтов, штриховку, стрелки |  |
| информации | рисунки, диаграммы, схемы для иллюстрации наиболее важных |  |
|  | фактов |  |
| Объем | не стоит заполнять один слайд слишком большим объемом |  |
| информации: люди могут единовременно запомнить не более трех |  |
| информации |  |
| фактов, выводов, определений. |  |
|  |  |

 **Изучение методик испытания электрических машин**

# Раздел 1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

 1.1. Виды испытаний

* + 1. Качество и показатели качества. Стандартизация методов испытаний

*Качество электрической машины* это – совокупность ее свойств, позволяющая удовлетворять определенные требования при использовании электрической машины по назначению. Поэтому *показатели качества* электрической машины представляют собой количественную характеристику ее свойств.

Показатели качества можно разделить на группы: по назначению, надежности, технологичности, стандартизации и унификации, транспортабельности, безопасности эксплуатации, а также – по эстетическим, патентно-правовым и экологическим признакам.

Из перечисленных групп в связи с необходимостью проведения испытаний наиболее значимыми являются такие показатели качества как назначения и надежности.

*Показатели назначения* определяют технические возможности электрической машины, а также – эффективность ее эксплуатации. В эту группу входят такие показатели, как мощность, скорость вращения, КПД, коэффициент мощности и т.п.

*Показатели надежности* характеризуют способность электрической машины сохранять в течение определенного времени значения всех параметров в установленных пределах, определяющих ее способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования.

Технические требования к показателям качества сформулированы в соответствующих стандартах. К ним относятся например такие, как надежность, уровень нагрева, энергетические показатели (КПД и коэффициент мощности), эксплуатационные показатели (максимальный и начальный пусковой моменты, начальный пусковой ток, скорость нарастания напряжения возбуждения и другие), требования к электрической прочности изоляции обмоток, механической прочности вращающихся частей, работе щеточного узла, способности выдерживать кратковременные перегрузки, способности длительной или кратковременной работы в аномальных условиях, уровням шума и вибрации, а также – создаваемых индустриальных радиопомех.

По всем перечисленным, а также по ряду других требований к качеству электрической машины, в стандартах установлены количественные требования, а в ряде случаев – и допуски на них.

При испытаниях проверяется соответствие измеренных и расчетных показателей качества требованиям стандартов. В связи с важностью объективного определения показателей качества в настоящее время действует 25 государственных стандартов (ГОСТов) только на методы испытаний электрических машин.

*При этом существуют стандарты, являющиеся* *общими для всех видов* *электрических машин*, например: ГОСТ 11828-86 регламентирует отдельные общие методы испытаний, ГОСТ 25000-81 устанавливает методы испытаний на нагревание, ГОСТ 25941-83 определяет методы определения потерь и КПД, ГОСТ 11929-87 устанавливает методы определения уровня шума, ГОСТ 12379-75 определяет методы оценки уровня вибрации и т.п.

Кроме перечисленных стандартов, распространяющихся на все виды электрических машин, разработаны *стандарты на методы испытаний отдельных* *видов электрических машин*, имеющих наибольшее распространение:

 –ГОСТ 7217-79 устанавливает методы испытаний трехфазных асинхронных двигателей;

 – ГОСТ 34784-77 определяет методы испытаний силовых трансформаторов;

 – ГОСТ 10159-79 относится к методам испытаний электрических машин постоянного тока;

 – ГОСТ 10169-77 регламентирует методы испытаний трехфазных синхронных машин.

*Ряд испытаний электрических машин проводится только на предприятиях* *электротехнической промышленности*, например испытания на надежность. В этих случаях в целях стандартизации методов испытаний разрабатываются так называемые отраслевые стандарты (ОСТы). Одним из таких стандартов является ОСТ 16-0.801.373-86 “Машины электрические вращающиеся средние свыше 56 до 355 габарита включительно. Двигатели асинхронные. Надежность. Методы ускоренных испытаний”.

 1.1.2.Промышленные и исследовательские испытания

Их задачи и особенности

На сегодняшний день все существующие виды испытаний в соответствии с их целями условно разделяются на *промышленные и исследовательские*. В ходе первых подтверждаются (или нет) заложенные при проектировании качество и характеристики. Исследовательские же испытания позволяют уточнить физические процессы, происходящие в машине, и соответствующие им физические и математические модели.

В целях обеспечения процессов проектирования и производства электрических машин стандартами установлены следующие виды испытаний.

*Приемосдаточные (контрольные) испытания (ПСИ),* проводящиеся отделами технического контроля (ОТК) по каждой выпускаемой электрической машине для проверки соответствия ее по основным показателям требованиям ТУ, ГОСТ, ОСТ и т.п.

*Периодические испытания*, проводящиеся периодически (раз в 2 – 3 года) ОТК или лабораториями на определенной части электрических машин для проверки соответствия их требованиям ТУ, ГОСТ, ОСТ и т.п.

*Типовые испытания*, которые проводят только при изменениях конструкции, материалов или технологии, могущих повлиять на характеристики машины.

*Приемочные испытания*, которые проводят на опытном (опытных) образце (образцах) перед запуском в серийное производство.

Указанные виды испытаний предусмотрены ГОСТ 183-74 и относятся к **промышленным**.

*Конструкторские испытания* опытных или головных образцов новых типов электрических машин, проводящиеся лабораториями с целью определения соответствия образцов расчетным и конструктивным данным и выявления резервов конструкции.

*Испытания на надежность* предполагают получение надежностных характеристик электрической машины таких как вероятность безотказной работы, наработка на отказ, закон распределения отказов и т.п. Как правило, это весьма длительные испытания, которые проводятся до отказа большей части испытуемых машин. Это обстоятельство делает испытания на надежность дорогостоящими и им подвергается лишь малая часть выпускаемых машин.

*Специальные (исследовательские) испытания*, целью которых является выяснение физической природы и закономерностей различных процессов в электрической машине, например – потерь, нагрева, коммутации, вибро- и шумообразования и т.п.

Необходимо особо отметить тесную взаимосвязь указанных видов испытаний, поскольку исследование влияния на качество электрической машины ряда конструктивных и технологических факторов можно провести только путем соответствующей статистической обработки материалов промышленных испытаний большого количества изделий.

1.2. Методика проведения испытаний

1.2.1. Задачи методики и требования к ней

Методика испытаний призвана *обеспечить необходимую и достаточную* *точность* определения искомой величины.

Точность методики промышленных испытаний должна давать возможность уверенного определения отклонения значений контролируемых величин не хуже чем (1/5…1/10) допуска установленного на них. Так например, если допуск на сопротивление обмотки составляет 5 %, то точность измерения сопротивления должна быть не хуже 1 %.

Для исследовательских испытаний требуемая точность зависит от конкретных задач. В любом случае она определяется минимальным изменением исследуемого параметра, которое должно быть измерено.

Если искомая величина является функцией нескольких переменных, например *Y*= *f*(*x*1, *x*2, *x*3), то в методике должно быть предусмотрено раздельное определение их влияния на эту функцию: все параметры должны быть контролируемыми и регулируемыми. Проводится серия опытов при изменении поочередно в заданных пределах одного из параметров и постоянстве остальных. Полученное в результате семейство кривых определяет *Y* для всех *x*.

В числе факторов, влияющих на исследуемый параметр, могут оказаться также и случайные (помехи), например связанные с условиями испытаний и вызывающие обусловленную ими погрешность. Методика должна предусматривать возможность сведения этой погрешности к минимальной одним из следующих способов.

Первый способ заключается в поддержании, если это возможно, влияния побочных факторов на неизменном уровне. Если это условие невыполнимо, то в изучении, например путем моделирования, влияния этих факторов на исследуемую величину, контроле их уровня и внесения соответствующих корректив в результаты измерения.

Примером второго способа уменьшения подобной погрешности является контроль температуры при измерении сопротивления обмоток в практически холодном состоянии и приведение его значений к единой стандартной температуре.

Наиболее сложным является планирование массовых испытаний в тех случаях, когда исследуемые параметры сами являются случайными величинами, например – результатом не поддающихся прямому контролю технологических факторов или воздействующих в процессе испытания побочных факторов, которые также носят случайный характер.

В этом случае при проведении испытаний может быть использована так называемая теория планирования эксперимента, являющаяся разделом теории математической статистики. Планирование эксперимента это – процедура определения числа опытов и условий их проведения, необходимых и достаточных для решения поставленной задачи с требуемой точностью. “Эксперимент” и “опыт” здесь надо понимать в широком смысле как математическое исследование закономерностей изменения выходных параметров при заданном изменении воздействующих факторов.

Во всех случаях выбора методики должен быть проведен тщательный анализ предельных погрешностей, формирующих общую погрешность.

1.2.2. Точность методики

Точность методики характеризуется наибольшей относительной погрешностью – погрешностью метода (ПМ).

Под погрешностью метода понимается погрешность в определении искомой величины, которая состоит из погрешности, связанной со способом ее выявления (ПВ), и погрешности, которую дает применяемая измерительная система (ПИ), состоящая из датчика, измерительного тракта и измерительного прибора.

Погрешность способа выявления (ПВ) определяется влиянием на датчик измерительной системы посторонних воздействий, что связано с выбором режима испытаний, способом измерения и вычисления искомой величины (прямое или косвенное).

Важно подчеркнуть, что простое суммирование погрешностей дает необоснованно завышенную погрешность. Наиболее вероятное значение погрешности метода определяется уравнением

 

1.2.3. Требования к измерительному оборудованию

При испытаниях электрических машин возникает необходимость в измерении электрических и неэлектрических величин. Требования к измерительным приборам и способам измерения определяются ГОСТ 11828-86 “Машины электрические вращающиеся. Общие методы испытаний”.

Для измерения электрических величин (напряжения, силы тока, мощности, сопротивления и т.п.) при частотах до 400 Гц включительно должны применяться электроизмерительные приборы класса точности не ниже 0,5, а для измерения сопротивления изоляции обмоток – класса точности не ниже 2,5. При частотах свыше 400 Гц класс точности измерительных приборов должен быть не ниже 2,5.

Необходимая точность измерений достигается при условии, что приборы, коэффициенты трансформации измерительных трансформаторов тока и напряжения выбираются таким образом, чтобы измеряемые значения параметров электрических машин находились в пределах (30…95)% шкалы приборов.

При определении мощности трехфазных машин способом двух ваттметров измеряемые токи и напряжения должны быть не ниже 30 % от номинальных токов и напряжений применяемых приборов.

Если при испытаниях измерения производятся более чем одним прибором, то отсчеты по всем приборам для каждого измерения рекомендуется производить одновременно.

При проведении приемосдаточных испытаний машин массового выпуска стремятся максимально механизировать и автоматизировать процесс испытаний, используя автоматические схемы измерений. В этих случаях допускается применение *отдельных* электроизмерительных приборов с классом точности не ниже 1,5 при условии, что максимальная ошибка измерения не превысит 8 % от значения допускаемого отклонения на контролируемый параметр. Для измерения частоты до 60 Гц в этих случаях допускается применение частотомеров класса точности не ниже 2,0, а для измерения более высоких частот – класса точности 2,5.

## Вопросы для самопроверки

1. Назовите причину, по которой возникла необходимость в стандартизации методов испытания электрических машин.

2. Что понимается под качеством электрической машины?

3. Перечислите основные группы показателей качества электрических машин.

4. Какие группы показателей качества электрических машин требуют проведения испытаний?

5. Назовите основные параметры, входящие в группу показателей назначения.

6. Дайте общую характеристику показателей надежности.

7. Какова цель проведения промышленных испытаний?

8. Назовите задачи исследовательских испытаний.

9. В чем заключается главная задача методики испытаний?

10. Назовите основное требование к точности промышленных испытаний.

11. Чем характеризуется точность методики проведения испытаний?

12. Какой класс точности должны иметь измерительные приборы при проведении промышленных испытаний?

Раздел 2. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПОТЕРЬ И КПД

 2.1. Потери в электрических машинах

2.1.1. Характеристики электрических машин

Под характеристикой электрической машины понимается функциональная зависимость между величинами, определяющими ее свойства, как правило представляемая в наглядной графической форме.

Существует большое число различных характеристик. Наибольший интерес представляют характеристики, определяющие эксплуатационные свойства электрических машин – эксплуатационные характеристики. Эти характеристики могут быть определены непосредственно из опыта или получены аналитически, например на основании схем замещения. Основные их виды представлены в табл.1.

 *Таблица* 1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Режим работы | Название характеристики | Функциональная зависимость |
| Генераторный | ВнешниеРегулировочныеНагрузочные | *U* = *f*(*I*)*I*в =*f*(*I*)*U* =*f*(*I*в) |
| Двигательный | Механическая\*Электромеханические\**U* – образные (для СД)\* | *n* =*f*(*M*)*I*, *cos*φ =*f*(*M*)*I* =*f*(*I*в) |
| Генераторный идвигательный | Энергетическая\*КПД\* | *P*1=*f*(*P*2)η =*f*(*P*2) |

**Примечания:**

1. При установлении функциональной связи между двумя параметрами остальные параметры должны оставаться постоянными.

2. Характеристики, отмеченные (\*) в соответствии с ГОСТ 17154-71, входят в состав рабочих характеристик.

Перечисленные выше характеристики относятся к установившимся режимам работы.

К числу основных характеристик неустановившихся режимов работы двигателей относятся пусковые характеристики: *M* = f(*t*), *n*= *f*(*t*) и *I* = *f*(*t*).

Неустановившиеся режимы работы генераторов характеризуются изменением напряжения во времени *U* = *f*(*t*) при внезапном нагружении или отключении нагрузки и зависимостью тока от времени при внезапном коротком замыкании *I*к = *f*(*t*). Наряду с этим важным эксплуатационным показателем генераторов является качество энергии, характеризуемое в первую очередь, стабильностью по частоте, форме и амплитуде кривой напряжения (для генераторов переменного тока), а также – значением пульсационных составляющих напряжения (для генераторов постоянного тока).

2.1.2. Методы нагружения электрических машин

С целью уменьшения расхода электроэнергии во всех случаях, где это целесообразно, а для крупных машин – всегда, при испытаниях должна применяться система возврата энергии, прошедшей через испытуемую машину, в сеть. Различают системы *возврата энергии* и *взаимной нагрузки.*

В первом случае нагрузка испытуемой машины (или ее привод) могут реализовываться с помощью электрической машины другого типа или даже другого рода тока. При этом места потребления и возврата энергии отделены друг от друга относительно длинной энергетической цепочкой, в которой имеют место потери.

В случае взаимной нагрузки для испытания используются две близкие по мощности, а еще лучше – одинаковые электрические машины, из которых одна работает двигателем, а другая – генератором. Точки отбора и возврата энергии при этом совпадают, и из сети потребляется лишь мощность равная потерям в этих двух машинах.

2.1.3. Общая характеристика потерь

В электрических машинах можно выделить следующие составляющие потерь: механические (*р*мх), магнитные или потери в стали (*р*ст), электрические в основных обмотках (*р*м), электрические потери на возбуждение (*р*в), электрические потери в щеточных контактах (*р*щ), добавочные потери при нагрузке (*р*д).

Определение перечисленных составляющих известно из курса “Электрические машины”. Однако для нахождения потерь при испытаниях необходима конкретизация в их определении.

*Механические потери* обусловлены трением всех видов во вращающихся машинах, в частности: в подшипниках, подпятниках и уплотнениях вала, щеток о коллектор и контактные кольца, вращающейся части машины о среду заполняющую полость машины, в каналах вращающейся части обусловленных работой вентилятора, водяных и масляных насосов и иных механизмов, связанных с валом машины и предназначенных для ее обслуживания. Как следует из сказанного, точное аналитическое их определение практически исключено.

*Магнитные потери* (потери в стали) обусловлены гистерезисом и потерями от вихревых токов при перемагничивании сердечника якоря, а также – вихревыми токами на поверхностях сердечников от различного рода пульсаций магнитного поля и вихревыми токами от потоков рассеяния во всех прочих частях машины (активных и конструктивных). За исключением первой группы перечисленных потерь в стали, все остальные относятся к категории так называемых добавочных потерь в стали. Их точная оценка очень сложна, а порой просто невозможна.

*Электрические потери в основных обмотках* определяются как *I*2∙*R*, где *R*– суммарное сопротивление обмотки якоря и других обмоток, соединенных последовательно с обмоткой якоря, *I* – ток в цепи обмотки якоря. Сопротивление обмоток измеряется на постоянном токе и пересчетом приводится к расчетной рабочей температуре, которая составляет: 750 С для классов изоляции *А,Е,В* и 1150 С для классов изоляции *F* и *Н*.

В случаях, когда измерение сопротивления практически невозможно из-за малого его значения, допустимо вычисление сопротивления по геометрическим размерам соответствующих обмоток. Если же невозможность измерения обусловлена недоступностью (например, обмотки к.з. роторов асинхронных двигателей), применяются косвенные методы определения потерь в таких обмотках. Например, электрические потери в обмотке ротора асинхронного двигателя определяются как

  ,

где .

*Потери на возбуждение* определяются как *I*2в∙*R*в, где *R*в– сопротивление цепи обмотки возбуждения и создаются током возбуждения *I*в как в самой обмотке возбуждения, так и в постоянно соединенных с ней сопротивлениях, служащих для ограничения или регулирования тока возбуждения. Если же обмотка возбуждения питается непосредственно от напряжения на выводах возбуждаемой машины, то потери на возбуждение вычисляются как произведение этого напряжения на ток возбуждения.

*Электрические потери в щетках* выделяются в переходных контактах щеток на коллекторе или контактных кольцах и равны произведению тока на падение напряжения в переходном контакте (Δ*U*), условно принимаемом не- зависящем ни от тока ни от полярности контакта и равным (на один контакт): для угольных и графитных щеток 1В, для металлоугольных и металлографитных 0,3 В.

*Добавочные потери при нагрузке* связаны в основном с вихревыми токами в активных и конструктивных частях машины от полей рассеяния, создаваемых током нагрузки. Оценить точно эти потери достаточно сложно, а порой невозможно. Поэтому для всех машин эти потери в соответствии с ГОСТом оцениваются приближенно в процентах от номинальной электрической мощности – отдаваемой для генераторов и подводимой для двигателей. Они составляют: в машинах постоянного тока некомпенсированных 1 %, в компенсированных, синхронных и асинхронных − 0,5 %. При нагрузках, отличных от номинальной, добавочные потери устанавливают пропорционально квадрату тока в рабочих обмотках.

* 1. Измерение КПД

2.2.1. Физическое обоснование методов экспериментального определения КПД

Под коэффициентом полезного действия (КПД) любой машины понимается отношение полезной (отдаваемой) мощности (*Р*2) к затрачиваемой (подводимой) активной мощности (*Р*1) обычно выражаемое в процентах

  %.

В случае генератора полезной мощностью является отдаваемая им электрическая мощность, которая легко поддается непосредственному измерению, а затрачиваемой мощностью – подводимая к нему механическая мощность, определение которой сопряжено со значительной погрешностью.

В случае двигателя полезной мощностью является трудно измеряемая механическая мощность, а затрачиваемой – подводимая электрическая мощность.

При любом направлении преобразования энергии неизбежны различного рода потери. Если обозначить общую величину потерь через Σ*р*, то полезная мощность будет равна

 *Р*2= *Р*1─ Σ*р*



или же затрачиваемая мощность запишется как

 *Р*1= *Р*2 + Σ*р.*

В таком случае можно получить следующие удобные для экспериментального определения уравнения для КПД:

 – для двигателя  (\*)

 – для генератора . (\*\*)

В соответствии с уравнениями для КПД ГОСТ 25941-83 оговаривает два вида методов его определения:

 1. *Методы непосредственного определения*, когда производится измерение как отдаваемой, так и подводимой мощностей.

2. *Методы косвенного определения*, когда измерению подвергается либо какая-нибудь из мощностей и потери (в сумме или порознь), либо только потери, а измерение мощностей вообще не производится.

Второй вид методов в принципе отличается большей точностью, чем первый, при котором КПД рассматривается как отношение двух более или менее близких друг к другу величин, одна из которых является к тому же механической мощностью “плохо” поддающейся измерению.

Поэтому методы непосредственного определения КПД могут применяться только в тех случаях, когда КПД настолько низок, что возможные ошибки измерения в особенности механической мощности перестают играть существенную роль.

Кроме того, найденное таким образом значение КПД зависит от состояния, в котором находилась машина в момент его определения, в частности, от температуры обмоток. Поэтому для одной и той же машины различные опыты могут дать различное значение КПД.

По указанным причинам стандарт предписывает применение методов первого вида для машин с гарантированным значением КПД не выше 50 %.

Как отмечалось выше потери, возникающие в электрической машине, зависят не только от режима ее работы, но в известной степени и от температуры ее частей.

Для возможности сравнения различных машин друг с другом при определении КПД косвенными методами принято относить КПД к некоторой условной температуре, называемой расчетной рабочей температурой.

Каким бы методом не производилось измерение КПД, машина при этом должна быть во вполне собранном и совершенно исправном состоянии.

От КПД определенного одним из указанных методов в качестве главного экономического показателя машин для номинальной нагрузки или некоторой ее части и являющегося, как было указано, величиной условной, следует отличать действительный КПД при произвольной нагрузке и фактической температуре частей машины в момент его определения.

2.2.2. Методы непосредственного определения потерь и КПД

Для непосредственного определения потерь и КПД используются следующие методы.

*Метод измерения механической мощности*. Механическая мощность на валу машины определяется как произведение измеренного вращающего момента на угловую скорость вращения. Эта мощность в случае двигателя является отдаваемой, а в случае генератора – подводимой. Вращающий момент и скорость вращения определяются одним из описанных ниже методов.

*Метод измерения электрической мощности*. Он применяется при определении потерь и КПД агрегата, состоящего как минимум из двух механически соединенных машин (двигатель – генератор). С помощью электроизмерительных приборов находят подводимую и отдаваемую электрические мощности. Их разность определяет полные потери в машинах.

 Его частный случай, называемый методом двигатель – генератора (метод Г – Д), состоит в том, что две одинаковые машины сопрягаются на одном валу и одна из них работает двигателем, а другая – генератором.

Электрическая мощность, подводимая к двигателю и электрическая же мощность, отдаваемая генератором, измеряются электроизмерительными приборами. Тогда имеем:

* для КПД двигателя

;

* для КПД генератора

.

 Общий КПД, очевидно, равен их произведению

 .

В предположении, что КПД обеих машин примерно одинаковы, можно получить его значение в виде

 .

Метод принципиально пригоден для машин всех видов, но практически наиболее удобен для машин постоянного тока.

*Метод тарированной вспомогательной машины*. Испытуемая машина соединяется с тарированной машиной. В зависимости от того двигателем или генератором является испытуемая машина, тарированная машина должна быть соответственно генератором или двигателем.

Тарирование вспомогательной машины, т.е. определение подводимой и отдаваемой ее мощностей, производится (для повышения точности) методом отдельных потерь.

При испытании двигателя его КПД находят как отношение мощности отдаваемой тарированной машиной и потерь в ней к мощности подводимой к испытуемой машине.

При испытании генератора его КПД определяется как отношение мощности отдаваемой испытуемой машиной к разности между мощностью подводимой к тарированной машине и потерями в ней.

2.2.3. Методы косвенного определения потерь и КПД

Косвенные методы определения потерь и КПД, называемые также методами отдельных потерь, основаны на том, что расчетным или опытным путем находят отдельно каждый вид потерь, суммируют их, а КПД определяют по уравнениям (\*) или (\*\*).

Используются следующие методы косвенного определения потерь и КПД.

*Метод взаимной нагрузки*. Данный метод состоит в том, что две одинаковые машины сопрягаются на одном валу и работают друг на друга, одна в режиме двигателя, другая – в режиме генератора.

Тогда сумма потерь в одной машине может быть найдена как

 .

Метод пригоден главным образом для машин постоянного тока. В принципе он может быть использован и для синхронных машин, однако осуществление его в этом случае настолько сложно, что практически не применяется.

*Метод отдельных потерь*. Этот метод является наиболее точным из всех рассмотренных и пригоден для электрических машин всех видов.

Каждый вид потерь определяется отдельно способами специфическими для конкретного вида машины.

При этом, как правило, потери в стали и механические определяются из опыта холостого хода, основные потери в цепях рабочих обмоток вычисляются по измеренным значениям сопротивлений обмоток и токам заданным или определенным из опытов нагрузки и т.п.

С точки зрения вычислительной практики наиболее удобным и точным является вычисление КПД по уравнениям вида (\*) и (\*\*).

Преимущество косвенных методов определения КПД, особенно метода отдельных потерь, перед другими методами состоит в том, что вероятная относительная ошибка в измерении мощности имеет примерно одинаковый порядок как при непосредственном измерении отдаваемой и подводимой мощностей, так и при измерении отдельных потерь. Но поскольку отдельный вид потерь составляет лишь малую долю отдаваемой или подводимой мощности, то относительная ошибка при определении КПД косвенными методами может быть оценена по крайней мере во столько раз меньшей во сколько раз в среднем измеряемые потери меньше суммы измеряемых подводимой и отдаваемой мощностей.

Вопросы для самопроверки

1. Что понимается под характеристикой электрической машины?

2. Перечислите основные эксплуатационные характеристики генераторов в установившемся режиме работы.

3. Назовите основные эксплуатационные характеристики двигателей в установившемся режиме работы.

4.Какие эксплуатационные характеристики относятся к неустановившимся режимам работы генераторов?

5.Перечислите основные эксплуатационные характеристики неустановившихся режимов работы двигателей.

6.Назовите способы нагружения электрических машин.

7.Какие виды потерь в электрических машинах не поддаются аналитическому определению?

8.Как учитываются добавочные потери в электрических машинах при нагрузке?

9.Назовите группы методов определения потерь и КПД электрических машин.

10.В каком случае КПД электрической машины допускается определять непосредственными методами?

11.Назовите методы непосредственного определения КПД.

12.Перечислите методы косвенного определения КПД.

13.Назовите причину, по которой косвенные методы определения потерь и КПД обладают достаточно высокой точностью.

Раздел 3. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И НЕЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

В процессе испытания электрических машин приходится определять большое количество неэлектрических величин. Последние могут быть определены как электрическими, так и неэлектрическими способами.

Устройство для измерения неэлектрических величин электрическим способом в общем случае состоит из датчика и измерительного блока, включающего в себя усилитель, измерительный прибор и блок питания.

Усилитель в ряде случаев может отсутствовать. В некоторых случаях усилитель состоит из предварительного (катодного или эмиттерного повторителя) и основного блока. Такое разделение имеет место при установке датчиков на расстоянии от измерительного блока, где длинные кабели могут являться источниками помех. В этом случае катодный повторитель, обладающий большим входным и малым выходным сопротивлениями, располагается вблизи датчика, а длинный кабель подключается к низкоомной нагрузке повторителя, не оказывая заметного влияния на передачу сигнала к основному усилителю.

Измерительные приборы со стрелочными или цифровыми индикаторами (показывающие приборы) обладают тем преимуществом, что позволяют получать результат непосредственно в момент измерения. Регистрирующие приборы (самописцы, осциллографы, магнитографы и т.п.) требуют дополнительной ручной или машинной обработки полученной информации.

Недостаток показывающих приборов состоит в том, что они могут быть применены только для статических или медленно изменяющихся процессов. Поэтому в ряде случаев целесообразно использовать как показывающие, так и регистрирующие приборы.

В качестве датчиков применяются резистивные, емкостные, пьезоэлектрические, электромагнитные, электронные или гальванические преобразователи механических величин в электрические.

3.1. Измерение электромеханических параметров

3.1.1. Измерение вращающих моментов

 Из уравнения движения (уравнения равновесия моментов)

 ,

где *М* – вращающий момент на валу двигателя,

 *М*с – момент сопротивления механизма приводимого в движение,

 *М*д – динамический момент,

следует, что вращающий момент можно измерить статическим методом (при *М*д = 0 и *М*с= const); динамическим методом при разгоне двигателя (при *М*с= 0) и методом суммарного момента (*М*с+ *М*д), измеряя момент реакции статора испытуемого двигателя.

Статический метод измерения момента позволяет построить статическую механическую характеристику двигателя по точкам, измеряя величину момента для нескольких значений скорости вращения. Недостаток метода состоит в том, что при снятии отдельных точек механической характеристики, особенно при малой скорости вращения, двигатель нагревается и поэтому снижается точность измерений.

При статическом методе для определения вращающего момента используются специальные устройства – моментомеры различных конструкций. Наибольшее распространение получили тормозные моментомеры, состоящие из тормозного устройства и измерителя момента. Тормозное устройство может быть фрикционным, гидравлическим, аэродинамическим, электромашинным, электромагнитным и т.п. Измерительные устройства выполняются крутильными, маятниковыми, рычажными, компенсаторными.

Динамический метод определения вращающих моментов основан на измерении ускорения электродвигателя при разгоне от неподвижного состояния до номинальной скорости. В этом методе для увеличения времени разгона на валу испытуемого двигателя укрепляется маховик с большим моментом инерции. Динамический момент определяется акселерометрическим (с помощью датчиков угловых ускорений), тахометрическим (с помощью тахометров или частотных датчиков) или угловым (с помощью измерителя углового перемещения) методами.

 При использовании метода суммарного момента измеряют реактивный момент, действующий на статор испытуемого двигателя. Результаты измерений могут быть представлены в виде осциллограмм.

3.1.2. Измерение частоты вращения

Измерение скорости вращения осуществляется следующими методами: прямого преобразования, сравнения и частотными.

*Методы прямого преобразования* заключаются в том, что скорость вращения определяют, используя известные зависимости, например центробежной силы, вращающего момента, ЭДС, давления и других величин от скорости вращения. Поэтому в этом методе применяют соответствующие тахометры.

Магнитные тахометры состоят из постоянного магнита соединенного с валом испытуемого двигателя и металлического (немагнитного) элемента (стакан, диск и т.п.) связанного с пружиной и стрелкой. При вращении магнита в неподвижном элементе индуктируется ток, который, взаимодействуя с магнитом, создает вращающий момент пропорциональный скорости вращения и , например угол закручивания пружины является мерой величины скорости вращения.

Магнитоэлектрические тахометры состоят из тахогенератора постоянного тока, линии связи и вольтметра, отградуированного в единицах скорости вращения. При постоянном магнитном потоке ЭДС тахогенератора пропорциональна скорости вращения.

Центробежные тахометры используют зависимость величины центробежной силы от угловой скорости

 ,

где *m* – масса вращающегося тела, а *l* – расстояние от центра тяжести тела до оси вращения.

Гидравлический тахометр конструктивно представляет собой диск с радиальными и осевыми каналами, заключенный в герметически закрытую камеру, заполненную жидкостью. При вращении диска под действием центробежных сил увеличивается давление в камере. Давление измеряется гидравлическим манометром, шкала которого нелинейна и градуируется опытным путем в единицах скорости вращения.

*Методы сравнения* основаны на сопоставлении измеряемой скорости вращения с эталонной, а поэтому являются более точными, чем методы прямого преобразования. Конструктивно тахометры, основанные на методе сравнения, можно разделить на фрикционные, стробоскопические и вибрационные.

Фрикционные тахометры работают на следующем принципе. Оператор изменяет передаточное отношение фрикционного вариатора до тех пор пока редуцированная скорость вращения эталонного двигателя не станет равной измеряемой.

Стробоскопический тахометр имеет ряд конструктивных решений. Наиболее удобны стробоскопы со световыми импульсами, которыми периодически освещается вал испытуемого двигателя. Частота световых импульсов регулируется электронным генератором таким образом, чтобы остановить вращение соответствующей метки на валу. Максимальная частота световых импульсов при этом будет соответствовать частоте вращения вала.

В вибрационных тахометрах производится сравнение измеряемой частоты вращения с резонансной частотой соответствующего вибратора.

*Частотные методы* состоят в преобразовании соответствующими датчиками измеряемой скорости вращения в частоту электрических импульсов, измеряемых частотомером.

Каждый из рассмотренных тахометров может иметь непосредственное соединение с валом испытуемого двигателя или – быть бесконтактным. Для испытания микроэлектродвигателей используются бесконтактные тахометры, поскольку они не создают дополнительную нагрузку на валу испытуемого двигателя, а следовательно не искажают результаты измерений.

3.1.3. Измерение скольжения асинхронных электродвигателей

Перечисленные методы измерения скорости вращения не могут быть применены для определения скольжения асинхронной машины, поскольку ведут к большой погрешности измерения. Это объясняется тем, что частота вращения ротора асинхронного двигателя при номинальной нагрузке весьма близка к частоте сети. Поэтому даже незначительная погрешность в измерении частоты вращения приведет к большой погрешности в определении скольжения.

Необходимую точность в определении скольжения можно получить измеряя непосредственно разность ( *n*c − *n* ), где *n*c – скорость вращения магнитного поля (синхронная скорость), а *n* – скорость вращения ротора.

Известно несколько способов измерения скольжения, основанных на указанном принципе: амперметром постоянного тока магнитоэлектрической системы (для асинхронных двигателей с фазным ротором), индукционной катушкой, стробоскопическим методом с применением газоразрядной лампы. Из перечисленных методов наиболее универсальным и удобным, а поэтому широко применяемым для асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором, является стробоскопический метод.

При использовании этого метода на торце вала испытуемого двигателя укрепляется легкий диск с нарисованными на нем секторами, зачерненными через один, т.е. количество зачерненных секторов равно числу пар полюсов двигателя. Диск освещается газоразрядной лампой, питаемой напряжением той же частоты, что и испытуемый двигатель.

В газоразрядных лампах свечение наступает тогда, когда приложенное напряжение превышает определенное значение, называемое порогом зажигания. Кроме того, свечение является поляризованным, т.е. в зависимости от направления тока светится один из электродов. Для удобства проведения измерений целесообразно в цепь лампы включить диод. Тогда диск будет освещаться только одной вспышкой за период. В таком случае при частоте вращения ротора, совпадающей с частотой питающего напряжения, ротор при освещении его газоразрядной лампой будет казаться неподвижным (случай синхронного вращения). В асинхронном двигателе из-за скольжения зачерненные сектора диска будут казаться медленно вращающимися в сторону противоположную вращению вала. Если за произвольно взятый промежуток времени *t* (с) сосчитать количество оборотов *N* любого из секторов на диске, то скольжение будет равно

 .

Для получения более четкого изображения секторов на вращающемся диске питание газоразрядной лампы следует производить не синусоидальным, а пикообразным напряжением, включив последовательно с ней дроссель насыщения.

3.1.4. Измерение угла нагрузки синхронных машин

Поскольку фаза ЭДС синхронной машины жестко связана с угловым положением индуктора, определение угла нагрузки (θ) при нагружении машины сводится к определению угла поворота вала относительно вектора напряжения.

При холостом ходе в генераторном режиме и, если механические потери относительно малы, то и в двигательном режиме, угол нагрузки равен нулю.Это позволяет определить точку его отсчета.

Наиболее просто угол нагрузки может быть определен с помощью строботахометра. При этом способе на вращающуюся вместе с ротором деталь наносится метка, освещаемая стробоскопом с частотой вспышек, синхронизированной с частотой напряжения синхронной машины.

При работе машины с постоянной нагрузкой метка остается неподвижной. При изменении нагрузки она смещается на угол, соответствующий изменению нагрузки.

Для отсчета угла нагрузки в цепь синхронизации вспышек стробоскопа включается небольшой измерительный фазорегулятор (фазовращатель), выполненный например на базе трехфазного сельсина с угловой шкалой поворота ротора.

При холостом ходе синхронной машины фазовращатель ставится на нулевую отметку шкалы и против метки на детали, связанной с валом, на неподвижной части синхронной машины ставится соответствующая метка.

При нагрузке метка на вращающейся части смещается относительно неподвижной. Поворотом ротора фазовращателя метки совмещаются и таким образом угол отсчитывается по шкале фазовращателя.

Необходимо иметь в виду, что чем больше пар полюсов имеет синхронная машина, тем меньший физический (геометрический) угол соответствует электрическому углу, в которых измеряется угол нагрузки. Поэтому для получения достаточно точных отсчетов для размещения метки должны выбираться детали большого диаметра.

Вопросы для самопроверки

1. Назовите наиболее удобный и распространенный способ измерения неэлектрических величин.

2. В каких случаях в качестве индикаторов могут быть использованы показывающие электроизмерительные приборы?

3. На базе какого уравнения построены все существующие методы измерения вращающего момента?

4. Что представляет собой статический метод измерения вращающего момента? Его достоинства и недостатки.

5. Какой из методов измерения вращающих моментов проще всего реализуется на практике?

6. Назовите достоинство метода измерения суммарного момента.

7. Перечислите существующие методы измерения скорости вращения вала электрической машины.

8. На каком принципе основаны методы измерения скорости вращения, называемые методами прямого преобразования?

9. Какой из методов измерения скорости вращения, относящийся к группе методов прямого преобразования, нашел наибольшее практическое применение?

10. Назовите группу методов измерения скорости вращения, обеспечивающую наибольшую точность.

11. Какие два метода измерения скорости вращения наиболее популярны?

12. По какой причине существующие методы измерения скорости вращения не могут быть использованы при измерении скольжения асинхронных двигателей?

13. Какой принцип лежит в основе методов измерения скольжения асинхронных двигателей?

14. Каким методом измеряется угол нагрузки синхронных машин?

 3.2. Измерение температуры нагрева активных и конструктивных частей

3.2.1. Общая характеристика датчиков температуры

В качестве датчиков температуры или теплоприемников нашли наибольшее применение термопары – приборы, основанные на явлении термоэлектричества. Термопара представляет собой сплав разнородных металлов (или сплавов), например медь – константан, хромель – алюмель, хромель – копель и т.п. Следует иметь в виду, что термопары измеряют не температуру места установки спая, а превышение температуры места установки над температурой окружающей среды, т.е. температуру противоположной пары электродов, к которым подключается измерительный прибор.

Термометры сопротивления (терморезисторы) относятся к одним из наиболее точных преобразователей температуры. В частности, платиновые термометры сопротивления позволяют измерять температуру с погрешностью 0,001 оС. Для измерения температуры применяются металлы, обладающие высокостабильным температурным коэффициентом сопротивления (ТКС), т.е. линейной зависимостью сопротивления от температуры. К таким материалам относятся платина и медь. Терморезисторы делят на металлические и полупроводниковые. Выбор материала для терморезистора определяется химической инертностью его к измеряемой среде и стабильностью ТКС. Полупроводниковые терморезисторы отличаются от металлических меньшими габаритами и тем, что их ТКС отрицателен.

Следует иметь в виду еще одну характеристику термопар и термометров сопротивления – их инерционность, которая для различных их типов может колебаться в пределах от 9 с до 4 мин.

Отдельную группу составляют измерители разового действия, к которым относятся теплочувствительные краски и легкоплавкие металлы. Эти измерители позволяют лишь ответить на вопрос превысила ли температура допустимое значение или нет.

Отдельную группу теплоприемников образуют сравнительно недавно разработанные низкотемпературные фотоэлементы ( фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы), работающие в инфракрасном спектре частот и позволяющие, таким образом, фиксировать температуру нагретого тела на расстоянии.

3.2.2. Методы измерения температуры

В соответствии с существующими средствами (датчиками температуры) используются следующие методы измерения температуры отдельных частей электрической машины.

*Метод заложенных теплоприемников*. Теплоприемниками, которые закладываются при изготовлении машины, могут служить термометры сопротивления, полупроводниковые терморезисторы, термопары.

Они обычно закладываются в места машины, где ожидаются наибольшие температуры. Конструктивно они выполняются либо пластинчатыми либо цилиндрическими. Пластинчатые закладываются в пазы машин, а цилиндрические применяются для измерения температуры охлаждающей среды.

*Метод встроенных теплоприемников*. В отличие от метода заложенных теплоприемников, которые служат для контроля температуры как при испытаниях, так и при эксплуатации, в рассматриваемом методе теплоприемники встраиваются в отдельные части электрической машины лишь на время испытаний.

*Метод термометра*. Метод позволяет определять температуру поверхности в точке приложения термометра. Под термином “термометр” следует понимать не только лабораторные стеклянные термометры расширения (ртутные или спиртовые) с ценой деления 1оС, но и любые переносные теплоприемники, в том числе и термометры сопротивления.

При использовании термометров расширения элемент соприкасающийся с соответствующей частью машины следует обернуть оловянной или алюминиевой фольгой и плотно прижать к поверхности. Теплочувствительные элементы термометра следует теплоизолировать от охлаждающего (окружающего) воздуха и принимать продолжительность измерения с учетом инерционности термометра.

*Метод сопротивления*. Широко используется для определения среднего превышения температуры изолированных обмоток электрической машины и основан на изменении сопротивления обмотки от ее температуры.

Для определения превышения температуры обмотки над температурой окружающей среды измеряют сопротивление обмотки при постоянном токе при практически “холодном” и в нагретом состояниях. Тогда превышение температуры обмотки над температурой окружающей среды определяется из следующих соотношений:

 *rx*= *r*15∙ [ 1+ α(υx− 15)];

 *r*г= *r*15∙ [ 1+ α ( υг − 15)].

Поскольку, например для меди, при υ = 15оС α = 0,004 = 1/250 , т.е. 1/α − 15 = 235, то

 ,

откуда

 .

Тогда превышение температуры обмотки над температурой окружающей среды определяется как

 ,

где – температура окружающей среды.

3.3.3. Особенности измерения температуры вращающихся частей

Температуру вращающихся тел измеряют датчиками температуры, связанными с индикаторами через скользящий контакт или бесконтактным способом, либо с использованием измерителей разового действия.

При использовании скользящего электрического контакта в качестве датчиков используются термопары, термометры сопротивления или терморезисторы, которые через контактные кольца и щетки, или жидкометаллический контакт соединяются с измерительным прибором. Сопротивление скользящего контакта сильно зависит от температуры, влажности, вибрации, скорости вращения и других факторов. В меньшей степени указанные факторы проявляются в случае жидкометаллического контакта.

Бесконтактная передача информации с датчика температуры на измерительное устройство может осуществляться с использованием индуктивной, емкостной или СВЧ-связи.

Последнее время широкое распространение получили бесконтактные методы измерения с использованием низкотемпературных фотоэлементов, работающих в инфракрасном спектре – спектре излучения нагретого тела. Приборы, построенные на этом принципе, получили название тепловизоров.

Вопросы для самопроверки

1. Назовите наиболее удобный и распространенный способ измерения неэлектрических величин.

2. В каких случаях в качестве индикаторов могут быть использованы показывающие электроизмерительные приборы?

3. На базе какого уравнения построены все существующие методы измерения вращающего момента?

4. Что представляет собой статический метод измерения вращающего момента? Его достоинства и недостатки.

5. Какой из методов измерения вращающих моментов проще всего реализуется на практике?

6. Назовите достоинство метода измерения суммарного момента.

7. Перечислите существующие методы измерения скорости вращения вала электрической машины.

8. На каком принципе основаны методы измерения скорости вращения, называемые методами прямого преобразования?

9. Какой из методов измерения скорости вращения, относящийся к группе методов прямого преобразования, нашел наибольшее практическое применение?

10. Назовите группу методов измерения скорости вращения, обеспечивающую наибольшую точность.

11. Какие два метода измерения скорости вращения наиболее популярны?

12. По какой причине существующие методы измерения скорости вращения не могут быть использованы при измерении скольжения асинхронных двигателей?

13. Какой принцип лежит в основе методов измерения скольжения асинхронных двигателей?

14. Каким методом измеряется угол нагрузки синхронных машин?

15. Перечислите типы теплоприемников, используемых для измерения температуры.

16. Какой тип теплоприемников обладает наибольшей точностью?

17. Что представляют собой датчики температуры разового действия?

18. Назовите методы измерения температуры?

19. Какой метод используется для измерения средней температуры нагрева изолированных обмоток электрических машин?

20. Назовите методы измерения температуры вращающихся частей электрических машин.

21. Какие датчики температуры позволяют легко осуществлять бесконтактное измерение температуры?

Раздел 4. ИЗМЕРЕНИЕ ШУМА И ВИБРАЦИИ

4.1. Измерение шумовых характеристик

Шумы, возбуждаемые аэродинамическими, магнитными и механическими факторами, а также – подшипниками и щетками, образуют общий шум электрической машины. Звуковые частоты охватывают диапазон от 16 до 20000 Гц.

Аэродинамический шум появляется в результате турбулентного (вихревого) движения газообразной охлаждающей среды при вращении ротора и вентилятора электрической машины. Отражающиеся от вращающейся поверхности завихрения, вызывают широкополосный шум, энергия которого спектрально распределена по всему диапазону слышимости.

Шум вентилятора в основном зависит от окружной скорости. Так у электрических машин с окружными скоростями свыше 60 м/с общий уровень шума определяется в большинстве случаев только аэродинамическим вихрем вентилятора.

К аэродинамическим шумам относятся и так называемые сиренные эффекты, возникающие когда сжатый вентилятором воздух или газ наталкивается на такие препятствия как ребра корпуса или подшипниковых щитов, крепящие болты или другие подобные детали. В случае равномерного шага лопаток вентилятора основная частота сиренного звука составляет, Гц

 *f* = *z*∙ *n* ,

где *z* – число лопаток.

Магнитный шум появляется вследствие возникновения вынужденных колебаний статора и ротора под действием знакопеременных электромагнитных сил, имеющих периодический характер. Магнитный шум в основном обусловлен радиальными усилиями, пропорциональными квадрату магнитной индукции в воздушном зазоре машины. Из-за сложного характера распределения магнитного поля в воздушном зазоре магнитный шум также является широкополосным.

Шум подшипников обусловливается главным образом небалансом и неточностью изготовления подшипников качения. Интенсивность шума возрастает с увеличением диаметра подшипников, скорости вращения, сил одностороннего магнитного тяжения и неуравновешанности ротора. Основная частота шума, обусловленного небалансом подшипников, не превышает частоту вращения ротора, т.е. приходится на нижний диапазон слышимости. Неточность изготовления подшипников приводит к появлению шума с частотой, превышающей частоту вращения ротора и пропорциональной количеству деформированных элементов подшипника.

Шум щеток возникает при скольжении их по коллектору и зависит от качества поверхности коллектора, состояния притирки щеток , их давления на коллектор.

В составляющих шума щеток наиболее выраженные звуки обусловлены периодическим прохождением коллекторных пластин под щетками. Частота этих звуков пропорциональна частоте вращения и количеству коллекторных пластин, поэтому шум щеток – высокочастотный.

Шум, возбуждаемый механическими факторами, возникает вследствие распространения вибрации подшипников или внутренних частей машины на большие площади фундаментов или кожухов. Этот “структурный” шум преобразуется в аэродинамический и излучается в окружающую среду. Если причиной вибрации является плохая балансировка ротора, то шум в большинстве случаев является низкочастотным, так как нижняя граница диапазона слышимости 16 Гц соответствует частоте вращения 960 об/мин.

Звуком называется воспринимаемые человеческим ухом изменения давления в окружающей среде (в воздухе, воде или иных средах), поскольку звук это – волновые колебания частиц упругого тела.

Частота колебаний, как отмечалось ранее, имеет диапазон 16 – 20000 Гц. Звук в разных средах распространяется с различными скоростями, например при температуре 200С эта скорость составляет : в воздухе − 340 м/с, в воде − 1500 м/с, в металлах в среднем − 5000 м/с, в резине − 50 м/с.

При распространении звука в воздухе возникают продольные волны, создающие сжатие и разряжение, т.е. добавочное давление по отношению к среднему давлению в воздухе. Пульсация добавочного давления называется звуковым давлением (*р*), которое измеряется в Паскалях (Па = Н/м2). При распространении звуковой волны происходит передача энергии. Количество звуковой энергии, передаваемой в течение одной секунды, называется звуковой мощностью (*Р*). Звуковая мощность, передаваемая через единицу поверхности перпендикулярной распространению волны, называется интенсивностью звука (*I*). Свойство среды оказывать сопротивление распространению звуковой волны называется акустическим сопротивлением.

Максимальные и минимальные звуковые давление, мощность и интенсивность, воспринимаемые человеком как звук, называются пороговыми.

Нижний порог чувствительности среднего человеческого уха (порог слышимости) на частоте 1000 Гц, принятой за стандартную, характеризуется звуковым давлением около *р*min= 2∙10-5 Па, что соответствует звуковой мощности *Р*min= 10-12 Вт и интенсивности звука *I*min= 10-12 Вт\м2.

Верхний порог чувствительности (порог болевого ощущения) на частоте 1000 Гц составляет *р*max= 2∙102 Па и ему соответствуют *Р*max= 102 Вт и *I*max= 102 Вт/м2.

Весь обширный диапазон значений звукового давления, мощности и интенсивности выражают не многозначными числами, а десятичными логарифмами отношения их значений к значениям, соответствующим порогу слышимости при эталонной частоте.

Эти отношения соответственно называются : уровень звукового давления (*Lp*), уровень звуковой мощности (*LP*) и уровень интенсивности звука (*LI*). Они измеряются в относительных единицах, которую условно называют децибел (дБ).

4.2. Измерение вибрации

Прибор для измерения шума (уровня звука или звукового давления), состоящий из микрофона, усилителя, частотных фильтров и индикатора, называется шумомером.

В зависимости от точности измерения шумомеры делятся на 4 класса: 0,1,2 и 3.

Шумомер имеет характеристики коррекции (частотные характеристики), обозначаемые буквами *А*, *В* и *С*. Указанные характеристики отражают субъективное восприятие шума человеческим ухом.

Обычно применяют частотную характеристику *А*, при которой разность показаний шумомера (в дБ) для двух различных шумов примерно равна разности уровней их громкости при восприятии на слух, что лучше всего учитывает степень физиологического воздействия.

 Микрофон шумомера преобразует акустическую энергию в электрическую. При измерении шумов находят применение пьезоэлектрические, электродинамические и конденсаторные типы микрофонов.

 Шумомер показывает уровень интенсивности звука (дБ), но не регистрирует частотного спектра. Измерение спектра амплитуд шума производят с помощью анализатора частот, который состоит из входного усилителя, корректирующих цепей, избирательного и выходного усилителей.

Эти методы устанавливает ГОСТ 11929-86. Они позволяют определить следующие шумовые характеристики: уровень звуковой мощности, средний уровень звука на расстоянии 1 м от наружного контура машины, средний уровень звукового давления на расстоянии 1 м от наружного контура машины и показатель направленности звука.

Измерение вибрации электрических машин позволяет контролировать ее качество и надежность, а также решать вопросы диагностики, амортизации и виброизоляции.

Периодическая вибрация может характеризоваться несколькими колебательными параметрами одновременно.

К параметрам линейной вибрации относятся перемещение (смещение), скорость, ускорение, резкость, сила и мощность. К параметрам угловой вибрации – угол поворота, угловая скорость, угловое ускорение, угловая резкость, момент сил. К параметрам обоих видов вибрации относятся фаза, частота и коэффициент нелинейных искажений.

Мгновенное значение координаты точки при колебательном движении называется смещением (*s*).

Первая производная смещения по времени называется скоростью, вторая – ускорением, третья – резкостью.

Для гармонического процесса смещение описывается уравнением

 ,

где *s* – смещение в момент времени *t*, *s*o– амплитудное значение смещения, ω = 2π*f* – угловая частота колебаний, φ – начальная фаза колебаний.

Тогда амплитудные значения смещения, скорости и ускорения связаны соотношением

 *а*о= ω∙νо= ω2∙*s*о.

Для количественной оценки амплитудных значений вибрации можно использовать различные значения. Обозначим *а*, *s*, ν одним общим символом *X*. Физическая величина *X* для периодического процесса характеризуется четырьмя значениями: двойной амплитудой, пиковым значением, средним и среднеквадратическим значениями.

Все приводимые ниже математические определения относятся к величине вибрации *X*(*t*), где *X* – мгновенное значение параметра, пределы интегрирования от *t* до (*t*+*T*), где *T* = 2π/ω.

Двойная амплитуда показывает полный размах колебаний и является важным параметром, тогда как смещение при колебаниях детали машины является критическим с точки зрения максимально допустимых механических напряжений и зазоров.

Пиковое значение – максимальное значение внутри интервала *T*. Оно эффективно при оценке кратковременных механических воздействий, например ударов и т.п.

 Среднее значение

 

показывает временное развитие исследуемой вибрации, но его практическое применение ограничено вследствие того, что оно не имеет никакой связи ни с какой физической величиной этих колебаний.

Среднеквадратическое значение

 

является самой важной характеристикой, так как в ней учитывается временное развитие исследуемых колебаний и оно непосредственно отражает связь с энергией, а, следовательно, – с разрушающей способностью этих колебаний.

Абсолютные значения смещения, скорости и ускорения измеряются в мкм, мм/с и мм/с2, соответственно.

Относительные значения (уровень) скорости и ускорения могут выражаться в относительных единицах – децибелах и рассчитываться по уравнениям:

 ,

где ν – измеренная величина скорости, а νо= 5∙10-5 мм/с – условный нулевой уровень скорости;

 ,

где *а*о= 3∙10-4 мм/с2 – условный нулевой уровень ускорения.

Как отмечалось выше, измерение вибрации электрических машин (методы измерения) проводится в соответствии с ГОСТ 12379-75 для машин массой 0,5…2000 кг и частотой вращения 600…30000 об/мин, а для машин массой свыше 2000 кг – по ГОСТ 20815-75.

Основной измеряемой величиной является среднеквадратическое (эффективное) значение скорости, которое определяется в диапазоне частот от рабочей частоты до 2000 Гц.

В ряде случаев дополнительно требуется проведение спектрального анализа, а если в диапазон измерения входят частоты свыше 2000 Гц, то необходимо и определение вибрационного ускорения.

Результаты измерения могут быть выражены в абсолютных или в относительных единицах.

В качестве измерительной аппаратуры используются вибрационные приборы с виброизмерительными датчиками, а также – октавные и третьеоктавные фильтры. Виброизмерительные датчики жестко крепятся к испытуемой машине (на штифтах, специальной мастике или с помощью постоянных магнитов).

При определении вибрации рекомендуется применять упругую установку электрической машины. Машина должна устанавливаться в таком положении, в котором она эксплуатируется, если ее положение при эксплуатации может быть любым, испытания проводятся при горизонтальной установке. Контроль вибрации обычно производится при номинальной скорости, а для машин с регулируемой скоростью – при номинальной и максимальной рабочих скоростях вращения.

Вопросы для самопроверки

1. Каков стандартный диапазон слышимости человеческого уха?

2. Перечислите источники шума, генерируемого электрическими машинами.

3. Назовите главные характеристики звука.

4. Что следует понимать под звуковым давлением?

5. Чем определяется интенсивность звука?

6. Что представляют собой пороговые характеристики звука?

7. По какой причине характеристики звука измеряются в относительных единицах?

8. Как определяется уровень интенсивности звука?

9. Что такое децибел?

10. Как называется прибор, используемый для измерения шумовых характеристик?

11. С какой целью производится измерение вибрации электрических машин?

12. Назовите основные параметры линейной вибрации.

13. Какими значениями может быть охарактеризована любая физическая величина периодического процесса?

14. Какой параметр, описывающий периодический колебательный процесс, является критическим с точки зрения допустимых механических напряжений?

15. Какой параметр прежде всего подлежит определению при измерении (оценке) вибрации?

 Раздел 5. КОНТРОЛЬ И ПОДАВЛЕНИЕ РАДИОПОМЕХ

Источниками индустриальных радиопомех (РП) в электрических машинах являются электромагнитные поля токов высокой частоты (с крутым фронтом изменения во времени), возникающие в скользящих контактах, особенно при коммутационных процессах.

Источниками радиопомех могут быть также входящие в состав электрической машины устройства с полупроводниковыми элементами, регуляторы и т.п.

Энергия радиопомех может излучаться как через зажимы машины, так и непосредственно в окружающее пространство.

В первом случае она может быть охарактеризована напряжением (и мощностью), измеряемым на зажимах электрической машины, а во втором – напряженностью электрического поля и мощностью излучения, измеряемыми с помощью антенны.

При этих измерениях устанавливаются мощности указанных величин в децибелах, т.е. логарифмы их отношений к пороговым значениям, соответствующим “нулевым” уровням.

Радиопомехи могут проявляться в полосе частот 0,01…1000 МГц. Применительно к электрическим машинам они контролируются в полосе частот 0,1…30 МГц (напряжение, мкВ) и 0,1…300 МГц (напряженность электрического поля, мкВ/м).

Уровень помех, создаваемых коллекторными машинами, определяется главным образом качеством коммутации и коммутационными параметрами (зависит в частности от числа витков в секции). Кроме того он зависит от емкости обмоток и соединительных элементов по отношению к земле, а также – от их индуктивности в диапазоне частот радиопомех. Явно выраженной зависимости уровня радиопомех от мощности машины не установлено.

Основные положения, определяющие методы испытания источников индустриальных радиопомех, устанавливают ГОСТ 16842-82 и ГОСТ 11001-80.

Допустимые уровни радиопомех (в децибелах) и методику их определения регламентируют “Общероссийские нормы допускаемых индустриальных радиопомех”( нормы 1-72, 9-72). Вопросы отнесения отдельных устройств к той или иной группе норм в случае необходимости решает Государственная инспекция электросвязи Министерства связи.

Для электрических машин, работающих в сетях жилых домов и вне этих

 сетей, допустимые уровни радиопомех (в децибеллах) регламентируются нормами 1-72 и 9-72, соответственно. Их перевод (из *L*, дБ) в напряжение ( *U*, мкВ) производится по формуле

 *U* = 10*L*/20 .

Защита от радиопомех осуществляется включением между зажимами электрической машины и ее корпусом (землей) конденсаторов емкостью 0,05…2 мкФ.

Ориентировочные данные о емкости конденсаторов, включаемых между зажимами якоря и корпусом (*С*я) и зажимами параллельной обмотки возбуждения и корпусом (*С*ш), в зависимости от мощности машины при допускаемом уровне помех до 103 мкВ на частоте 0,16 МГц приведены в таблице:

|  |  |
| --- | --- |
| Емкость,мкФ | Мощность, кВт |
| До 2 | 2…5 | 5…50 | 50…100 | 1000…5000 |
| *С*я | 0,1…0,2 | 0,25 | 0,5 | 1,…1,5 | 2 |
| *С*ш | 0,1…0,2 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 |

Рабочее напряжение конденсаторов, включаемых на зажимы якоря, выбирается в 1,5…2 раза большим, чем максимальное рабочее напряжение машины. Для конденсаторов, присоединяемых к зажимам параллельной обмотки , это отношение повышается до 2…3 с учетом возможных перенапряжений на зажимах этой обмотки при ее отключении.

При выборе рабочего напряжения конденсаторов, в особенности у низко- вольтных машин, должно быть учтено также напряжение измерителей сопротивления изоляции (мегомметров), которыми производится профилактическая проверка установки без отключения конденсаторов.

В некоторых случаях конденсаторы включаются не только на выходные зажимы, но и непосредственно между щеткодержателем и корпусом. Большое значение при этом имеет длина соединительных проводов: чем они длиннее, тем больше индуктивность и хуже защита.

При включении конденсаторов защиты от радиопомех между зажимами (щеткодержателями) и металлическим корпусом двигателя последний может оказаться под напряжением относительно земли. Поэтому в тех случаях, когда возможно касание руками незаземленного корпуса, емкостной ток (при переменном токе) не должен превышать 1 мА, а ток утечки (при постоянном токе) – 5 мА (значения, при которых не создается неприятных ощущений).

Этим требованиям отвечает суммарная емкость защитных конденсаторов 0,013/0,023 мкФ при напряжениях 220/127 В, соответственно.

Для устройств, касающихся кожного покрова (например электробритвы, машинки для стрижки волос и т.п.) этот ток не должен превышать 0,3 мА.

Лучшим решением с точки зрения техники безопасности при отсутствии заземления является изолирование двигателя от корпуса прибора, куда он встроен, либо применение защитного пластикового корпуса.

Подбор схемы защиты и входящих в нее элементов производится обычно экспериментально.

Вопросы для самопроверки

1. Что является источником радиопомех в электрических машинах?

2. Какими физическими параметрами характеризуются радиопомехи в электрических машинах?

3. Назовите диапазон частот, в котором могут проявляться радиопомехи.

4. От каких параметров зависит уровень помех, создаваемых коллекторными машинами постоянного тока?

5. Каким образом осуществляется защита от радиопомех?

6. Чем определяется величина суммарной емкости конденсаторов, включаемых между щеткодержателями и корпусом машины?

7. Как осуществляется подбор схем защиты от радиопомех и входящих в них элементов?

Раздел 6. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

6.1. Принципы автоматизации испытаний

6.1.1. Причины необходимости автоматизации испытаний

1. Практика показывает, что затраты времени на проведение контрольных операций при изготовлении электрических машин в среднем составляет до 13 % от общей трудоемкости.

Усредненные нормы времени на проведение приемосдаточных испытаний одной электрической машины средней мощности составляют 3…35 часов (для разных типов). На проведение периодических испытаний одной электрической машины уже требуется 48…250 часов. Средние нормы времени на обработку результатов приемосдаточных испытаний одной машины составляют 0,6…4 часа, а периодических испытаний – 40…90 часов.

Столь высокая трудоемкость испытаний заставляет искать пути ее снижения.

Таким образом, одно из возможных направлений автоматизации испытаний электрических машин связано с обеспечением их серийного производства, что позволяет, кроме отмеченных выше задач, обеспечить сбор объективных статистических данных, а следовательно – эффективный контроль технологического процесса.

2. Постоянное повышение требований к технико-эксплуатационным характеристикам электрических машин привело к чрезвычайно обширной номенклатуре показателей качества. Соответствующие требования к этим показателям равно как и к методам их оценки отражены в многочисленных государственных стандартах. Таким образом, существует объективная необходимость в проведении:

– длительных и непрерывных (круглосуточных) испытаний на надежность, требующих систематического контроля большой группы разнообразных параметров с одновременным их анализом;

– испытаний, требующих применение сложной аппаратуры, предполагающей высокую квалификацию обслуживающего персонала, что например характерно для определения виброакустических характеристик электрических машин.

В перечисленных случаях требуется обработка (часто оперативная) больших массивов информации с использованием специфического математического аппарата теории вероятности и математической статистики. По понятным причинам применение в этих условиях “ручных” методов оказывается малоэффективным.

3. Как уже отмечалось выше, при испытаниях электрических машин широкое применение находят косвенные методы. Они используются в двух случаях:

 – когда требуемый параметр или характеристика не могут быть найдены прямым измерением;

 –при определении технико-эксплуатационных характеристик электрических машин, непосредственное испытание которых экономически невыгодно или технически затруднительно.

Иными словами это можно сформулировать как необходимость получения полной информации об объекте испытаний при ограниченном наборе исходных данных. К подобным же методам прибегают и в целях сокращения объема испытаний.

 4. Возрастающая сложность основного оборудования, систем управления и контроля уже в настоящее время приводят к значительному увеличению объема работ, связанных с эксплуатационным обслуживанием (профилактика, проверки, ремонты и т.п.) электрических машин. Техническое обеспечение процесса дефектации при ремонте электрических машин обусловливает необходимость их разборки для окончательной оценки состояния. Все это связано с затратами труда, времени, а также с экономическими потерями, вызываемыми вынужденным простоем основного оборудования. Следовательно, развитие и совершенствование диагностики электрических машин должно основываться на применении методов, обеспечивающих определение их технического состояния в процессе функционирования. В связи с многообразием эксплуатационных факторов, влияющих на работу машины, и большим числом параметров, характеризующих ее состояние, система контроля должна осуществлять непрерывное определение указанных параметров и выполнять их сравнение с допустимыми или пороговыми значениями.

6.1.2. Структура автоматизированных систем испытаний

 Как вытекает из сказанного, автоматизация испытаний позволяет:

 – уменьшить трудоемкость подготовки и проведения испытаний, включая и процесс обработки экспериментальных данных;

* повысить точность и достоверность результатов;
* сократить число испытателей;

 – улучшить условия труда, в том числе – усилить меры по технике безопасности.

 Комплексная автоматизация испытаний предполагает взаимосвязанную автоматизацию. Поэтому в системах автоматизированных испытаний можно выделить следующие три подсистемы:

1. Автоматическое измерение контролируемых величин, их обработку и сравнение с допустимыми значениями, выдачу протоколов испытаний.

2. Механизация операций по перемещению изделий, подключение и отключение питающих и измерительных цепей, соединение и разъединение с нагрузочными или приводными установками.

 3.Систему управления, обеспечивающую необходимую последовательность и синхронизацию операций в соответствии с программой испытаний.

6.1.3. Особенности методов экспериментального исследования при автоматизации испытаний

В автоматизированных измерительных системах находят применение как прямые, так и косвенные методы измерений.

При прямых методах используются первичные измерительные преобразователи, осуществляющие преобразование измеряемой физической величины в постоянное напряжение или ток с последующим их преобразованием в цифровой код и вводом его в ЭВМ. Однако выпускаемые в настоящее время измерительные преобразователи из-за ограниченности частотного диапазона не обеспечивают высокой точности, в частности при несинусоидальных сигналах.

Широкое внедрение микроЭВМ открывает новые возможности для автоматизации исследований и испытаний электрических машин. Их использование позволяет не только автоматизировать процессы управления режимами испытаний, сбора данных при проведении опытов, обработки их результатов, получения документов в виде протоколов и графиков, но и , наряду с возможностью использования косвенных методов, – отказаться от традиционных методов измерения контролируемых величин.

Суть этого заключается в прямом измерении мгновенных значений сигналов, записи их в память ЭВМ и проведении необходимых вычислений, в результате которых на экран видеотерминала или на печатающее устройство выдаются значения физических параметров.

Например, действующие значения напряжения, тока, активной мощности и коэффициента мощности определяются по уравнениям:

  ;

  ;

  ;

 ,

где *u*(*t*) и *i*(*t*) – мгновенные значения напряжения и тока в момент времени *t* , *Т* – период измеряемого сигнала.

Такой подход к построению измерительных каналов обеспечивает сокращение аппаратных средств за счет уменьшения контролируемых параметров и высокую точность измерения, в том числе и сигналов несинусоидальной формы.

С точки зрения упрощения и удешевления систем автоматизированных испытаний желательно, чтобы максимальное число испытаний проводилось методами, не требующими соединения с валом испытуемой машины. В основе таких методов лежит измерение скорости вращения и ее изменения (при пуске, выбеге и т.п.) с помощью, например фотодиодов и обработки этих данных с помощью электронных схем (дифференцирующие и интегрирующие цепочки).

6.1.4. Общие принципы автоматизации испытаний

Следует иметь в виду, что автоматизация испытаний может быть успешной лишь в том случае, если она предусматривается уже на стадии проектирования электрической машины, при разработке технологии изготовления и технологии контроля на всех операциях, при разработке технических условий на машину и программы ее испытаний. При проектировании электрической машины должна быть обеспечена доступность ко всем местам подключения токоведущих элементов схемы испытания и ко всем местам установки измерительных преобразователей.

Наибольшую эффективность автоматизация приемосдаточных испытаний будет обеспечивать в том случае, когда имеется хорошо отлаженный технологический процесс с устойчивой технологией. В этом случае программа ПСИ может быть существенно упрощена в связи с переводом некоторых видов испытаний наиболее трудных для автоматизации (например испытание под нагрузкой) в категорию выборочных, т.е. периодических. При этом возможно также сокращение времени некоторых видов испытаний, например таких как проверка электрической прочности изоляции и т.п. В полной мере также должна использоваться такая возможность уменьшения трудоемкости и энергоемкости ПСИ как выбор простейших параметров, например параметров холостого хода и короткого замыкания, сочетание которых определяет значения нормируемых параметров, также применение искусственных методов нагружения, не требующих механического соединения испытуемой машины с нагрузочным устройством.

 Оценка контролируемых параметров может производиться двумя способами:

– для таких испытаний как проверка сопротивления изоляции, испытание ее электрической прочности, испытание на отсутствие межвитковых коротких замыканий, результаты испытаний могут оцениваться по способу “годен-негоден” (да-нет) путем сравнения измеренного значения с заданным;

– для изучения или контроля стабильности технологического процесса могут использоваться также измерение и фиксация значений контролируемого параметра, если оно выходит за пределы допуска, или измерение и фиксация контролируемых параметров независимо от того попадают они в зону допуска или нет, но с отметкой о годности или негодности на основе автоматического сравнения с заданными предельными значениями.

 6.2. Общая характеристика средств автоматизации испытаний

Во всяком экспериментальном исследовании можно выделить несколько основных типовых блоков.

1. Экспериментальная установка с объектом, воспроизводящие исследуемый процесс или явление.

2. Для задания и выдерживания необходимых значений параметров объект снабжается системой управления. При этом, как правило, цифровая информация преобразуется в аналоговую с помощью цифроаналоговых преобразователей (ЦАП).

3. Следующей по основному потоку движения информации является измерительная система. Измеряемыми величинами являются физические величины (*U*, *I*, *P*, *t*, φ, *l*, *p*, *f* и т.п.).

Первоначальными источниками информации о значениях измеряемых величин служат датчики. Чаще всего датчики выдают сигнал в аналоговой форме (непрерывный во времени). Если сигнал, получаемый от датчика, не является электрическим, его преобразуют в токовый или потенциальный; если сигнал слабый, его усиливают.

Сигналы от датчиков поступают на измерительные устройства. Обычно измерительные устройства, применяемые в автоматизированных системах, имеют цифровую индикацию и цифровое представление результата на выходе. Узел, переводящий аналоговую информацию в цифровую, носит название аналого-цифрового преобразователя (АЦП).

Иногда для экономии оборудования одни и те же измерительные устройства могут обслуживать большое число датчиков. Поочередное подключение датчиков к усилителю и измерительной части осуществляется коммутатором.

4. Одной из самых ответственных частей системы является узел обработки информации и управления. Он включает в себя процессор, оперативное запоминающее устройство и систему математического обеспечения.

Процессор осуществляет обработку данных по заданному алгоритму, т.е. по заданному набору формальных правил, описывающих способ преобразования исходных данных для получения результата.

Запоминающее устройство имеет иерархическую структуру. В оперативной его части (ОЗУ) содержатся данные для обработки, программы обработки и промежуточные результаты. Во внешних запоминающих устройствах (ВЗУ) хранятся результаты, образующие банк данных.

5. Обязательными являются устройства ввода-вывода и общения с экспериментатором на дисплее (для удобства восприятия данных), а также – устройства вывода данных на основе алфавитно-цифровой печати (АЦПУ) и графопостроителя. Формы и способы представления информации на входах и выходах различных устройств могут не совпадать.

Соединение устройств между собой осуществляется посредством интерфейсов. Интерфейс это – стандарт на сопряжение двух блоков, определяющий число сопрягаемых линий, назначение каждой линии, содержание информации, передаваемой по каждой линии, направление передачи, кодировку информации, временные и амплитудные характеристики сигналов по каждой линии, типы разъемов. Главный интерфейс системы – это стык между ЭВМ и измерительной частью.

В автоматизированных системах в случае, если какие-либо узлы или блоки системы, подключаемые к ЭВМ, не имеют стандартного интерфейса, они подключаются через переходники (адаптеры).

Функционально законченные элементы системы, имеющие одинаковый интерфейс входа-выхода, называются модулями. При наличии типовых модулей разного назначения система может быть составлена из них полностью или частично.

Аналогичная картина выявляется и в части программного обеспечения. Оформляя типовые программы обработки данных, отображения данных, управления объектом и т.д. в виде модулей, можно из таких модулей легко составить программу для автоматизации эксперимента выбранными средствами или, по крайней мере, использовать эти модули как часть создаваемой системы программного обеспечения.

Таким образом, почти для всякого экспериментального исследования получается цепочка из аппаратных модулей (управляющих, интерфейсных и обрабатывающих). При сборке автоматизированной системы используются модули различного типа: датчики сигналов, усилители, измерители, коммутаторы, интерфейсы, хранители информации (запоминающие устройства); модули обрабатывающие, регистрирующие, отображающие информацию в виде удобном для восприятия и т.п.

Вопросы для самопроверки

1. Назовите причины, обусловливающие необходимость автоматизации испытаний электрических машин.

2. Что позволяет обеспечить автоматизация испытаний?

3. Какие подсистемы должны быть в системе автоматизации испытаний?

4. Дайте характеристику особенностей экспериментальных методов, используемых в автоматизированных системах испытаний.

5. Какой подход к измерению контролируемых параметров позволяет существенно сократить аппаратные средства и повысить точность результатов испытаний в случае их автоматизации?

6. Назовите две составляющие, обеспечивающие успешность и эффективность автоматизации приемосдаточных испытаний.

7. Перечислите возможные упрощения в проведении автоматизированных приемосдаточных испытаний.

8. Назовите главные структурные блоки типовой схемы автоматизированных экспериментальных исследований.

**Тест № 1 (к разделу 1)**

1.Под качеством электрической машины понимают:

 А) ее способность удовлетворять соответствующим требованиям при эксплуатации;

 В) полное соответствие требованиям конструкторской документации;

 С) изготовление ее в полном соответствии с конструкторской и технологической документацией.

2.Показатели качества, входящие в группу “показатели назначения”, отражают:

 А) области применения электрической машины;

 В) ее технические возможности и эффективность эксплуатации;

 С) показатели соответствующего режима работы.

3.Виды испытаний электрических машин классифицируют в зависимости от:

 А) объема производства;

 В) номенклатуры определяемых показателей;

 С) задач, решаемых в ходе проведения испытаний.

4. Из перечисленных видов испытаний электрических машин к группе промышленных относятся:

 А) конструкторские;

 В) на надежность;

 С) типовые.

5. Необходимость ГОСТов на методы испытаний электрических машин обусловлена:

 А) большим объемом их выпуска;

 В) необходимостью объективной оценки показателей качества;

 С) разнообразием типов и конструкций.

**Тест № 2 (к разделу 2)**

1. Методы непосредственного определения КПД применяются, если его значение:

 А) не более 40 %;

 В) не превышает 60 %;

 С) меньше или равно 50 %.

2. Электрические потери в основных обмотках электрических машин должны быть приведены к определенной (рабочей) температуре, которая:

 А) зависит от нагрузки машины;

 В) зависит от класса нагревостойкости изоляции;

 С) представляет собой реальную температуру нагрева обмотки.

3.При определении КПД методом взаимной нагрузки измеряются:

 А) только электрическая мощность;

 В) суммарные потери;

 С) электрическая и механическая мощности.

4. Укажите тип электрической машины, для которого при определении КПД косвенным методом измерение мощности не производится:

 А) синхронные машины;

 В) коллекторные машины;

 С) трансформаторы;

 D) асинхронные машины.

5. Метод измерения электрической мощности при определении КПД применяется:

 А) только для генераторного режима работы;

 В) только для двигательного режима работы;

 С) для любого режима работы.

**Тест № 3 ( к разделу 3)**

1. Из перечисленных методов измерения частоты вращения наиболее точными являются методы:

 А) прямого преобразования;

 В) сравнения;

 С) частотные.

2. С помощью термопар измеряют:

 А) температуру нагретого тела;

 В) превышение температуры нагретого тела над температурой окружающей среды;

 С) можно измерять и то и другое.

3. Устройство, называемое моментомером, используется в методе измерения:

 А) результирующего момента;

 В) статического момента;

 С) динамического момента.

4. Расчетная рабочая температура, к которой приводятся найденные экспериментально значения потерь и КПД, составляет 750 С для изоляции класса нагревостойкости:

 А) B;

 B) F;

 C) Н.

5. Недостатком статического метода измерения момента является:

 А) сложность измерительной аппаратуры;

 В) длительность процесса измерения;

 С) малая точность, обусловленная изменением температуры в процессе измерения.

**Тест № 4 ( к разделу 4)**

1. Любой физический параметр как линейной, так и угловой вибрации, характеризуется приведенными ниже обобщенными показателями. Укажите параметр, подлежащий измерению:

 А) пиковое значение;

 В) двойная амплитуда;

 С) среднее значение;

 D) среднеквадратичное значение.

2.Шум, создаваемый электрической машиной, охватывает весь слышимый частотный диапазон (16…20000 Гц). При этом магнитные источники создают шум:

 А) низкочастотный;

 В) во всем указанном диапазоне;

 С) в высокочастотной его части.

3. Скорость распространения звука в твердых телах определяется зависимостью , где Е – модуль упругости, а ρ – плотность материала. Следовательно, наименьшую скорость звук будет иметь в:

 А) стали;

 В) свинце;

 С) алюминии.

4.Укажите характеристику звука (шума), которая измеряется прибором называемым шумомером:

 А) мощность;

 В) интенсивность;

 С) уровень звукового давления;

 D) уровень интенсивности.

5. При измерении вибрации электрическая машина должна иметь упругую установку:

 А) по требованиям техники безопасности;

 В) для удобства измерений;

 С) для обеспечения объективности результатов.

**Тест № 5 (к разделу 5)**

1. Источником индустриальных радиопомех, создаваемых электрическими машинами, является:

 А) колебания напряжения и тока при переходных процессах;

 В) броски тока и напряжения в аварийных режимах;

 С) электромагнитные поля токов высокой частоты, возникающие при работе скользящих контактов.

2. Радиопомехи, создаваемые электрическими машинами и излучаемые в окружающее пространство, проявляются в полосе частот, Гц:

 А) тысячи;

 В) миллионы;

 С) сотни.

3. Вопросы отнесения электрической машины к той или иной группе норм по уровню радиопомех решает:

 А) министерство электротехнической промышленности;

 В) государственная инспекция электросвязи;

 С) органы, отвечающие за экологическую безопасность.

4. Уровень радиопомех, создаваемых коллекторными машинами, зависит от:

 А) нагрузки;

 В) частоты вращения;

 С) мощности.

5. Радиопомехи, создаваемые коллекторными машинами в виде электромагнитного излучения, оцениваются в:

 А) Веберах;

 В) Вольт/метр;

 С) Теслах.

**Тест № 6 (к разделу 6)**

1. Как показывает практика, затраты времени на проведение контрольных операций (испытаний) от общей трудоемкости изготовления электрической машины составляют до :

 А) 25 %;

 В) 5 %;

 С) 13 %.

2. Автоматизация испытаний приводит к :

 А) возрастанию требований к квалификации обслуживающего персонала;

 В) удорожанию процесса проведения испытаний;

 С) увеличению точности и достоверности результатов.

3. Из перечисленных ниже типовых подсистем автоматизированной системы испытаний использование ЭВМ требуется для :

 А) автоматизации измерений;

 В) механизации операций по перемещению изделия, подключения и отключения питающих и измерительных цепей;

 С) обеспечения необходимой последовательности операций.

4. Наибольшую эффективность автоматизация, например приемо-сдаточных испытаний, будет иметь место при хорошо отлаженном производственном процессе, так как в этом случае:

 А) разброс измеряемых параметров будет минимальным;

 В) может быть сокращена программа испытаний за счет перевода отдельных их видов в разряд периодических;

 С) возможно проведение выборочных испытаний.

5. Широкое использование косвенных методов при автоматизации испытаний в сочетании с применением ЭВМ обеспечивает:

 А) сокращение аппаратных средств за счет уменьшения числа контролируемых параметров;

 В) упрощение расчетных соотношений при определении контролируемой величины;

 С) усложнение системы испытаний.