



Малютин Александр Евгеньевич,
эксперт Рязанской ЛСЭ Минюста
России, соискатель кафедры
Вакуумной электроники МФТИ

Милюхин Павел Иванович,
начальник Рязанской ЛСЭ Минюста
России, кандидат юридических наук

ЭКСПЕРТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЛЕКТОРНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОБЫТОВОЙ ТЕХНИКИ

Темой статьи являются порядок и характер исследования судебным экспертом коллекторных электродвигателей объектов электробытовой техники.

Malutin A. E., Milyukhin P. I.

EXPERT EXAMINATION OF THE COMMUTATOR MOTORS OF HOUSEHOLD APPLIANCES

The article is devoted to the examination by forensic expert of the commutator motors of household appliances.

Ключевые слова: электробытовая техника, экспертное исследование, коллекторные электродвигатели

Keywords: household appliances, expert examination, commutator motors

Назначение и устройство коллекторных электродвигателей

Одной из групп электробытовых устройств, имеющих широчайшее распространение, являются электромеханические.

Практически в каждой семье имеются кухонные электромеханические устройства: миксеры, кофемолки, универсальные кухонные комбайны. Во многих семьях используются электрифицированные швейные машинки, различный электроинструмент для обработки металла,

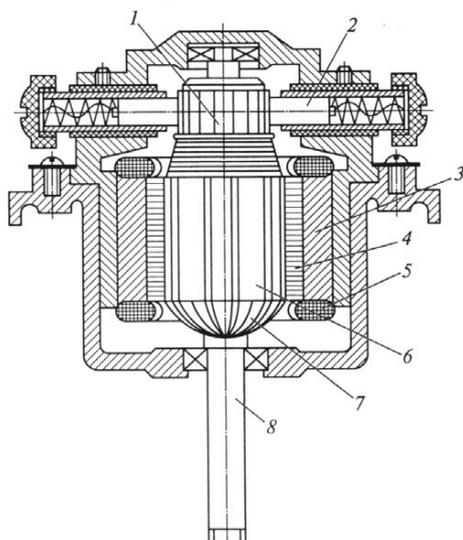


Рис. 1. Коллекторный электродвигатель [3]:
1 – коллектор; 2 – щеточный узел; 3 – станина; 4 – сердечник статора; 5 – обмотка возбуждения; 6 – сердечник якоря; 7 – обмотка якоря; 8 – вал.

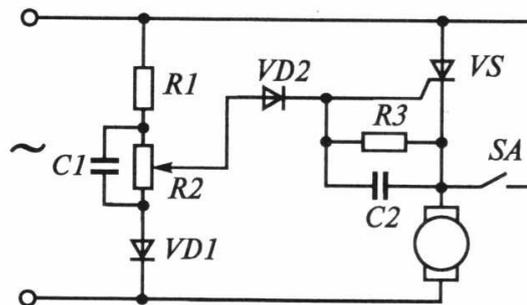


Рис. 2. Однополупериодная схема регулирования частоты вращения универсального коллекторного двигателя.

дерева, а также индивидуального использования: электробритвы, фены.

Одним из основных элементов электро-механических устройств является электродвигатель. Электродвигатели классифицируются по различным признакам: род и величина питающего напряжения, конструкция и принцип действия и др. По роду питающего напряжения электродвигатели подразделяют на двигатели постоянного и переменного тока, а также с универсальным питанием. Величина питающего напряжения обычно составляет 127 или 220 В переменного тока частотой 50 Гц, а для автомобильных приборов – 12 В постоянного тока. По конструктивному исполнению электродвигатели делятся на коллекторные и бесколлекторные. Последние в свою очередь по принципу действия могут быть отнесены к асинхронным и синхронным. Существует также деление по числу фаз питающей сети: однофазные и многофазные. Однако, поскольку бытовая электрическая сеть является однофазной, наличие в электро-механическом устройстве многофазного электродвигателя позволяет отнести его к промышленному оборудованию.

Наиболее распространенным в электро-бытовых устройствах является универсальный коллекторный электродвигатель последовательного возбуждения. Объясняется это тем,

что он может включаться в цепь постоянного и переменного тока, а также питаться импульсным током. Двигатель имеет сравнительно малую массу и высокий коэффициент мощности ($\cos\varphi = 0,92...0,98$). Положительное качество этого двигателя – высокое значение пускового момента и возможность регулировки частоты вращения в относительно широких пределах: 3000...30000 мин⁻¹.

Конструктивно коллекторный электродвигатель состоит из двух основных частей: неподвижной – индуктора (статора) и подвижной – якоря (ротора), разделенных воздушным зазором (рис. 1). Основным элементом обмотки якоря (7) является секция, содержащая один или несколько витков. Активная часть секции расположена в пазах сердечника якоря (6). Начало и конец секции (лобовая часть) выходят на коллектор (1) и присоединены к двум коллекторным пластинам (ламелям). При петлевой обмотке начало и конец секции находятся на соседних ламелях, при волновой обмотке конец секции отстоит от начала на некоторое число пластин, называемое шагом по коллектору. Обмотки соединены между собой последовательно. Электрический контакт с ламелями осуществляется с помощью щеток (2) – графитовых (как правило) столбиков, прижимаемых к поверхности коллектора пружинами.

Следует отметить, что наличие

коллекторно-щеточного узла, обмотки якоря и необходимость относительно высокой частоты вращения ограничивают продолжительность работы этих двигателей. Кроме того, искрение в щетках приводит к возникновению радиопомех, для подавления которых параллельно к щеткам подключают конденсатор.

Регулирование частоты вращения коллекторных электродвигателей осуществляется довольно простыми схемами. Ступенчатое регулирование осуществляется либо изменением величины магнитного потока путем переключения числа витков обмотки возбуждения, либо ступенчатым изменением напряжения питания путем последовательного включения в цепь двигателя диода. Для плавного регулирования частоты вращения чаще всего используется однополупериодная схема (рис. 2) [2]. Резисторы R1 и R2 и диод VD1 образуют делитель напряжения. Благодаря диоду VD1 ток протекает в цепи только в одном направлении. Последовательно с якорной обмоткой электродвигателя подключен тиристор VS, управляющий электрод которого через диод VD2 соединен с делителем напряжения. Диод VD2 служит для защиты тиристора от попадания на его управляющий электрод потенциала, отрицательного по отношению к катоду. Частота вращения регулируется потенциометром R2, который изменяет напряжение, подаваемое на управляющий электрод тиристора. При увеличении напряжения на управляющем электроде тиристор находится в проводящем состоянии большую часть полупериода напряжения питающей сети, а частота вращения электродвигателя возрастает. Если обмотка электродвигателя рассчитана на номинальное напряжение в сети, то максимальную частоту вращения можно получить при шунтировании цепи анод-катод тиристора ключом SA.

Типовые дефекты и их экспертная диагностика

Условия эксплуатации и сроки службы электродвигателей в электробытовых устройствах различны. Соответственно различны и причины выхода их из строя. Установлено [4], что 85–95 % отказов в работе электродвигателей происходит из-за повреждений изоляции обмоток, распределяемых следующим образом: 90 % межвитковых замыканий и 10 % повреждений и пробоев изоляции на корпус. За-

тем идут дефекты подшипников, деформация стали якоря или статора и изгиб вала.

Таким образом, можно предложить следующий порядок экспертного исследования электродвигателей.

1. Первичная диагностика

При первичной диагностике выявляются дефекты, способные привести к повреждению электродвигателя при включении, в том числе представляющие опасность для жизни. Для этого сначала проводится внешний осмотр с целью определения механических дефектов, препятствующих запуску электродвигателя: поломка вала, подшипниковых щитов, подшипников, задевание ротора за статор и др. Необходимо убедиться в свободном вращении вала.

Во-вторых, проверяется техническое состояние выводных концов и клемм. Если имеются дефекты крепления и следы воздействия окружающей среды (наслоения различного вида, связанные с нарушением правил эксплуатации), то, после предварительной их фиксации, для дальнейшего исследования необходимо привести клеммные контакты в технически исправное состояние.

В-третьих, необходимо проверить мегаомметром на 1 кВ электрическую прочность корпусной изоляции. Сопротивление обмоток относительно корпуса в холодном состоянии должно быть не менее 2 МОм. Согласно [8] изоляция обмоток относительно корпуса двигателя должна выдерживать синусоидальное напряжение частотой 50 Гц и амплитудой 1 кВ для якоря и 1,5 кВ для статора.

При удовлетворительных результатах предварительной диагностики электродвигатель включается на номинальное напряжение и проверяется его работа на холостом ходе и с нагрузкой.

2. Искрение

Одним из наиболее часто выявляемых дефектов коллекторных электродвигателей является искрение. Искрение под щетками на коллекторе может появляться от разных причин, в том числе и от наличия агрессивных компонентов в окружающей среде, в которой электродвигатель работает. Искрение может появляться внезапно и изменяться с течением времени. В некоторых случаях для выявления

причин искрения приходится длительно вести наблюдения за работой коллектора и щеток. Учитывая многообразие причин искрения, нельзя указать исчерпывающие способы распознавания этих причин.

Прежде всего, надо дать правильную оценку степени искрения. В соответствии с нормами [6, 7] искрение на коллекторе электрической машины должно оцениваться по степени искрения под сбегающим краем щетки и по шкале (классам коммутации), указанной в табл. 1.

При нормальном режиме работы степень искрения не может быть выше 1½. Таким образом, основным критерием для оценки степени искрения служит состояние рабочей поверхности коллектора и щеток.

Полезным может оказаться наблюдение за цветом искр [5]. Небольшое искрение, наблюдаемое часто на сбегающем крае щетки, не является дефектом, искры имеют белый или голубовато-белый цвет, они небольшого размера («точечное искрение»). Вытянутые

искры желтоватого оттенка свидетельствуют о неправильной коммутации. Зеленая окраска искр и наличие меди на зеркале щеток являются следствием сгорания меди и указывают на механические причины искрения, например, выступание коллекторных пластин, эксцентricность коллектора, вибрацию щеток и т.п.

Если при работе на холостом ходе искрение отсутствует, а с увеличением нагрузки также увеличивается, то причинами этого являются либо неисправность щеточного аппарата, либо дефекты обмотки статора: неправильное чередование полюсов или замыкание между обмотками. Если же при увеличении нагрузки щетки искрят равномерно, то зазор между якорем и отдельными или всеми добавочными полюсами не соответствует паспорту электродвигателя.

Если искрение наблюдается и на холостом ходе, то причинами этого являются плохое состояние или неправильная установка щеток. Так, щетки могут иметь неровную рабочую поверхность с царапинами, их края

Таблица 1

Степень искрения (класс коммутации)	Характеристика степени искрения	Состояние коллектора и щеток
1	Отсутствие искрения (темная коммутация)	Отсутствие почернения на коллекторе и нагара на щетках
1¼	Слабое точечное искрение под небольшой частью щетки	
1½	Слабое искрение под большей частью края щетки	Появление следов почернения на коллекторе, легко устранимых протиранием поверхности коллектора бензином, а также следов нагара на щетках
2	Искрение под всем краем щетки. Допускается только при кратковременных толчках нагрузки и перегрузки	Появление следов почернения на коллекторе, не устранимых протиранием поверхности бензином, а также следов нагара на щетках
3	Значительное искрение под краем щетки с наличием крупных и вылетающих искр. Допускается только для моментов прямого включения и реверсирования машин	Значительное почернение на коллекторе, не устранимое протиранием поверхности бензином, а также подгар и разрушение щеток

обломаны в процессе эксплуатации или обгорели. Размер обойм щеткодержателей также может не соответствовать размеру щеток (слишком велик или слишком мал), щетки прижимаются к коллектору слишком сильно или слишком слабо.

Если при искрении на холостом ходе двигатель плохо идет в ход или работает с ненормальной частотой вращения, то присутствует замыкание либо коллекторных пластин, либо межвитковое или короткое замыкание якорных катушек (секций). Для определения замыкания в катушках на каждую пару ламелей, расположенных на расстоянии шага по коллектору, подается от внешнего источника (аккумулятора) ток заданной величины и измеряется падение потенциала между ламелями. Для дефектной секции падение потенциала будет меньше, чем для исправных секций. Для определения замыкания ламелей требуется, отсоединив от них якорные катушки, измерить сопротивление между ними.

В некоторых случаях при искрении щеток наблюдается почернение лишь некоторых коллекторных пластин, расположенных на определенном расстоянии друг от друга (шаге по коллектору). При прохождении этих ламелей под щетками выскакивают сильные искры, может наблюдаться их выгорание. Дефект имеет место большей частью в соединениях между обмоткой якоря и коллектором (обрыв) вследствие плохой пайки.

Круговое искрение или огонь по коллектору обусловлены, как правило, значительным загрязнением поверхности коллектора вследствие сильного износа щеток, вызываемого негладкостью коллектора или применением неподходящих щеток.

Иногда на коллекторе имеются пятна, имеющие матовый оттенок. При работе устройства пятна вызывают искрение щеток; места, покрытые пятнами, выгорают и становятся шероховатыми, вследствие чего искрение усиливается. Причиной появления таких пятен является хранение в сыром помещении при длительном перерыве работы устройства. Щетка, коллектор и влажный воздух, находящийся в контактном слое, образуют гальванический элемент, вызывающий протекание тока и электрохимическое разрушение поверхности коллектора.

3. Вибрация и ненормальный шум

Вибрация и шум всегда сопровождают нормальную работу электродвигателей. Допустимые уровни вибрации и шума отдельных видов электрических машин, а также методики определены величины вибрации и шума устанавливаются ГОСТом [9].

Основными причинами шума и вибрации электрических устройств являются магнитные, механические и аэродинамические источники.

Магнитные источники вибрации связаны с высшими пространственными гармониками магнитного поля, которые обусловлены наличием зубцов на статоре и якоря, несинусоидальностью напряжения питания, эксцентриситетом воздушного зазора, несинусоидальным распределением МДС обмотки и целым рядом других причин.

Силы аэродинамического происхождения вызывают вибрации и шум, уровень которых зависит от правильности выбора количества и формы лопаток, типа вентилятора, его аэродинамических свойств, числа и профиля вентиляционных каналов, правильности расположения вентиляторов относительно деталей и узлов электрических устройств. Выбираемая технология производства оказывает большое влияние на стабильность виброакустических характеристик. Практика показывает, что их разброс даже у однотипных электрических устройств может достигать 20 дБ.

Наиболее распространенной причиной шума и вибрации являются механические дефекты. К ним относятся несоосность и перекос якоря, его дисбаланс, дефекты в подшипниках и соединительной муфте, искривление вала или овальная форма его шейки.

Оборудование для диагностики электродвигателей

Для целей диагностики электродвигателей необходимо следующее оборудование:

1. Ручной мегаомметр. Служит для определения сопротивления изоляции. Рассчитан на номинальное напряжение 1000 В и имеет верхний предел измерений 1 ГОМ;

2. Аппаратура для определения межвиткового замыкания обмоток. Измерение сопротивления обмотки, уложенной в пазы, осуществляется с помощью разнообразных аппаратов и приспособлений. Наиболее про-

стой комплекс состоит из аккумулятора с системой регулировки тока (до 5 А), милливольтметра, подковообразного электромагнита и омметра. Существуют также отечественные универсальные аппараты для диагностики электродвигателей, например, ЕЛ-15, ПУНС-5 и их импортные аналоги. С помощью таких универсальных приборов можно производить:

- определение целостности обмоток якоря и измерения величины сопротивления обмоток;
- обнаружение межвиткового замыкания в обмотках якоря электродвигателя;
- определение целостности обмоток статора;
- обнаружение межвиткового замыкания в обмотках статора;
- определение сопротивления изоляции обмоток якоря (статора);
- определение шага и угла укладки обмоток якоря;

3. Аппаратура для определения шума и вибрации. Измерение уровней шума и вибрации является наиболее сложной диагностической задачей, однако в настоящее время имеется достаточно большое количество современных приборов для этой цели от портативных приборов (например, вибро- и шумомер ZET 110) до сложных стационарных виброакустических комплексов с широкими возможностями (например, ВК-01)

Литература

1. Карпухина Е.С., Кучеров А.В., Милухин П.И., Усов А.И. Производство судебной экспертизы электробытовой техники: (Общие положения. Методические рекомендации). – М.: РФЦСЭ при Минюсте России, 2006. – 60 с.
2. Соколова Е.М. Электрическое и электромеханическое оборудование: Общепромышленные механизмы и бытовая техника: Учеб. пособие. – 3-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 224 с.
3. Ремонт и обслуживание бытовых машин и приборов: Учеб. пособие / С.П. Петросов, В.А. Смоляниченко, В.В. Левкин и др. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 320 с.
4. Диагностика и сервис бытовых машин и приборов: Учеб. пособие / С.П. Петросов, С.Н. Алехин, А.В. Кожемяченко и др. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 320 с.
5. Гемке Р.Г. Неисправности электрических машин / Под ред. Р.Б. Усманцева. – 9-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. – 336 с.
6. Государственный стандарт Союза ССР ГОСТ 183-74 (СТ СЭВ 1346-78) «Машины электрические вращающиеся. Общие технические требования. Общие технические условия» (утв. постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 27 декабря 1974 г. N 2822) (с изменениями и дополнениями).
7. Государственный стандарт Союза ССР ГОСТ 16264.3-85 «Двигатели коллекторные. Общие технические условия» (утв. постановлением Госстандарта СССР от 28 января 1985 г. N 168).
8. Межгосударственный стандарт ГОСТ 12.2.013.0-91 (МЭК 745-1-82) «Система стандартов безопасности труда. Машины ручные электрические. Общие требования безопасности и методы испытаний» (утв. постановлением Госстандарта СССР от 30 сентября 1991 г. N 1563)
9. Межгосударственный стандарт ГОСТ 12.2.030-2000 «Система стандартов безопасности труда. Машины ручные. Шумовые характеристики. Нормы. Методы испытаний» (введен в действие постановлением Госстандарта РФ от 27 декабря 2000 г. N 425-ст) (с изменениями и дополнениями).