

$$R_{\tau} = 2K_f \frac{(Q_n'' + F_{rc})}{D_r} = 2K_f \frac{(Q'' \cos \Theta + m_r e \omega_k^2)}{D_r}, \quad (6)$$

где K_f – коэффициент трения качения.

Так как вращающий момент передается на вал ротора фрикционно, то максимальное его значение M_r ограничивается некоторым максимальным значением угла нагрузки Θ_{max} , при котором ротор может еще обкатываться по статору практически без проскальзывания:

$$M_{rmax} = \frac{1}{2} Q D_r \sin \Theta_{max}. \quad (7)$$

Величину угла Θ_{max} можно определить из условия равенства сил:

$$Q_{\tau max}'' = R_{\tau max}.$$

Используя уравнения (2), (3), (4), (6) и (7) получим выражение для определения максимального угла нагрузки Θ_{max} :

$$Q'' \sin \Theta_{max} = 2K_f \frac{(Q'' \cos \Theta_{max} + m_r e \omega_k^2)}{D_r}. \quad (8)$$

Представим отношение $2K_f/D_r$ в виде тангенса некоторого угла α и поставим в выражение (8). Преобразуем его в соответствии со стандартными тригонометрическими выражениями и получим формулу для максимального угла нагрузки двигателя с катящимся ротором:

$$\Theta_{max} = \arcsin 2K_f \frac{m_r e \omega_k^2}{Q \sqrt{D_r^2 + 4K_f^2}} + \arctg 2 \frac{K_f}{D_r}. \quad (9)$$

Для ДКР с вращающим моментом (50...100) Н·м максимальный угол нагрузки будет составлять 30°...50° при фрикционном характере передачи момента, тогда как в идеальном случае (зубчатое зацепление) он может достигнуть 90°.

Приведенные в данной работе выражения справедливы для ДКР с трехфазной нераспределенной обмоткой статора, соединенной по схеме «звезда» при непосредственном питании от сети трехфазного напряжения.

Список литературы: 1. Борзяк Ю.Г., Зайков М.А., Наний В.П. Электродвигатели с катящимся ротором. – Киев: Техника, 1982. – 119 с. 2. Литвин В.Ф. Проектирование механизмов и деталей приборов. – Л.: Машиностроение, 1973. – 696 с.

Поступило в редколлегию 12.05.08

УДК 621.313

Н.А. ОСТАШЕВСКИЙ, канд. техн. наук,
В.А. ЧЕРЕВКО, аспирант

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ АСИНХРОННОГО ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ДВИГАТЕЛЯ

У даній статті розглянуто існуючі методи розрахунку теплових процесів в частотно-керованому асинхронному двигуні, обґрунтовано доцільність і ефективність застосування методу еквівалентних теплових розрахункових схем заміщення при оцінці теплового стану електричної машини.

В данной статье рассмотрены существующие методы расчета тепловых процессов в частотно-управляемом асинхронном двигателе, обоснована целесообразность и эффективность применения метода эквивалентных тепловых расчетных схем замещения при оценке теплового состояния электрической машины.

В ходе исторического процесса внедрения электрических машин во все производственные сферы, сложились определенные шаблонные модели применения того или иного вида машин в определенных ситуациях. Например, для регулирования скорости вращения механизмов чаще использовали двигатель постоянного тока. Преобразователь в данном случае регулировал только напряжение, был прост и дешев. Однако двигатели постоянного тока имеют сложную конструкцию, ненадежный в эксплуатации щеточный аппарат и сравнительно дороги.

Асинхронные двигатели, напротив, широко распространены, надежны, имеют относительно невысокую стоимость, хорошие эксплуатационные качества. В настоящее время, благодаря быстрому росту рынка преобразователей частоты для асинхронных двигателей, данные машины обладают всеми характеристиками, необходимыми для их широкого внедрения в индустрию.

Для минимализации расходов отечественных предприятий на обеспечение бесперебойной работы асинхронных частотно-регулируемых двигателей, необходимо уделять большое внимание факторам, определяющим уровень эксплуатационной надежности машин. Одним из таких факторов является тепловое состояние двигателя.

Достоверная информация о текущем тепловом состоянии электродвигателя позволяет обеспечить, в первую очередь, защиту электродвигателя от возможных аварийных режимов, связанных с температурными изменениями. На стадии разработки нового электродвигателя или во время модернизации (изменения) отдельных узлов необходима информация о том, как эти работы повлияют на температурное состояние его обмоток.

При выборе асинхронного электродвигателя и проверке его по нагреву

оперируют такими понятиями, как допустимое число включений в час, допустимая температура нагрева обмоток, механическая прочность и долговечность витковой изоляции. Перечисленные параметры могут существенно изменяться в зависимости от режима работы электродвигателя и конструкции электрической машины. Нагрев обмоток зависит от величины нагрузки, уровня потерь в переходных режимах, тепловых характеристик материалов частей электрической машины, способа и качества охлаждения.

В процессе эксплуатации электрической машины в составе электропривода, особенно при различных повторно-кратковременных режимах работы с возможным кратковременным превышением номинальной нагрузки, целесообразен постоянный мониторинг теплового состояния обмоток электродвигателя. Поскольку в реальных условиях контроль температуры обмоток затруднен, оптимальное решение видится в косвенном определении температуры наиболее нагретых частей обмотки электрической машины по текущей температуре в одной из ее частей, где доступно установление датчика температуры.

Такая постановка задачи не нова, однако, вопрос заключается в том, где наиболее целесообразно устанавливать датчик температуры, учитывая при этом технологические возможности, стоимостные показатели как электродвигателя, так и системы в целом.

В практике исследования и проектирования асинхронных двигателей применяются различные методы расчета установившихся и неустановившихся тепловых процессов: метод эквивалентных греющих потерь, аналитический метод или метод температурного поля, метод эквивалентных тепловых схем.

Всегда для решения какой-то сложной задачи прибегают к некоторым упрощениям и допущениям. Какая-то реальная модель заменяется упрощенной, эквивалентной данной, которая позволяет не нарушить физический смысл рассматриваемых процессов в пределах каких-то погрешностей. Так в задаче нагрева тел неправильной формы успешно пользовались заменой их телами элементарной формы (цилиндр, параллелепипед и т.д.) Для таких тел была разработана методика расчета при помощи критериев подобия и для облегчения расчетов составлены критериальные графики. Этот метод прост, но не учитывает зависимости физических свойств тела от температуры. Естественно, что этот метод дает очень приближенное решение.

С развитием вычислительной техники появилась возможность выполнения больших объемов вычислений в за короткое время. Это дало толчок развитию математических методов, позволяющих более точно описать физические процессы в рассматриваемой задаче. Так в 60-х годах был разработан и эффективно использовался метод конечных разностей (МКР), который предполагает в себе разбиение тела сеткой и замены непрерывной функции конечными разностями.

В 80-х годах появился и стал успешно использоваться метод конечных элементов (МКЭ). Он разрабатывался в США под руководством NASA и представлял собой стратегический объект развития государства. Этот метод более сложен, требующий значительных затрат на разработку приложений

реализующих его и достаточно мощных вычислительных ресурсов. Сейчас МКЭ узко представлен в учебной литературе, только в отдельных изданиях, и не является легко доступным для специалистов отдельных областей наук.

Метод конечных элементов основан на идее аппроксимации непрерывной функции дискретной моделью, которая строится на множестве кусочно-непрерывных функций, определенных на конечном числе подобластей, называемых конечными элементами. Исследуемая геометрическая область разбивается на элементы таким образом, чтобы на каждом из них неизвестная функция аппроксимировалась пробной функцией (как правило, полиномом). Причем эти пробные функции должны удовлетворять граничным условиям непрерывности, совпадающим с граничными условиями, налагаемыми самой задачей. Выбор для каждого элемента аппроксимирующей функции будет определять соответствующий тип элемента.

Конечно, благодаря развитию вычислительной техники, на протяжении последних десятилетий быстро расширяется сфера применения вычислительных методов. Первоначально ориентированный на решение задач прочности, МКЭ все активнее используется в других областях исследований, в частности для решения задач, связанных с распространением электромагнитных волн в различных средах. К этому классу задач можно отнести и моделирование работы электрических машин самых разнообразных типов. К сожалению, на сегодняшний день среди отечественных разработчиков в этой области МКЭ не получил широкого распространения.

На сегодняшний день широкое распространение в процессе исследования теплового состояния частотно-регулируемых асинхронных двигателей получили методы построения тепловой модели с использованием эквивалентных тепловых расчетных схем замещения (метод ЭТС). Данный метод достаточно хорошо апробирован в практике проектирования серий АД. Он основывается на хорошо разработанной теории электрических и тепловых цепей и позволяет определять средние температуры частей асинхронного двигателя. При этом составляется система уравнений, которая учитывает тепловое взаимодействие источников тепловыделения в узлах электрической машины.

Однако одна и та же конструкция электрической машины может быть представлена различными тепловыми схемами, отличающимися степенью детализации возможных путей протекания тепловых потоков. Основную проблему составляет точное определение тепловых сопротивлений между элементами конструкции, в которых происходит выделение тепла, и окружающей средой. Дополнительные трудности при определении тепловых сопротивлений возникают при учете условий работы электродвигателя от частотного преобразователя с изменяемой скоростью вращения ротора.

Теоретические расчеты, которые, несомненно, представляют интерес с научной точки зрения и позволяют учесть большое количество параметров машины, ее исполнение по способу охлаждения и распределение температур по объему машины, не всегда пригодны для практического использования, так как требуют знания большого количества параметров конструкции маши-

ны и применяемых материалов. С практической точки зрения оптимальной является тепловая модель, в которой все параметры могут быть взяты из паспорта электродвигателя или получены путем геометрических измерений непосредственно на машине.

К несомненным достоинствам метода ЭТС относятся: возможность использования при различных конструктивных исполнениях двигателей, возможность повышения точности расчета за счет увеличения числа элементов схемы замещения и уточнения значений тепловых проводимостей.

Таким образом, анализ существующих методов теплового расчета частотно-регулируемых асинхронных двигателей, оценка их соответствия и адекватности реалиям сегодняшнего производства, позволяет сделать вывод о целесообразности и эффективности применения метода ЭТС при оценке теплового состояния электрической машины.

Список литературы: 1. *Борисенко А.И., Костиков О.Н., Яковлев А.И.* Охлаждение промышленных электрических машин. – М.: Энергоатомиздат, 1983. 2. *Сипайлов Г.А., Санников Д.Н., Жадан В.А.* Тепловые, гидравлические и аэродинамические расчеты в электрических машинах. – М.: Высшая школа, 1980. 3. *Петрушин В. С.* Асинхронные короткозамкнутые двигатели в системах полупроводникового электропривода. – О.: Одесса 1997. 4. *Зенкевич О.* Метод конечных элементов в технике: – М.: Мир, 1975.

Поступила в редколлегию 05.05.08

УДК 621.316.933.064.4

Т.П. ПАВЛЕНКО, канд. техн. наук

АНАЛИЗ ПРИКАТОДНЫХ ПРОЦЕССОВ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА И ЯВЛЕНИЯ ТЕРМОЭМИССИИ

У роботі розглянуті процеси у приелектродних областях електричних контактів, зокрема, розвиток катодних плям і утворення ерозії на його робочій поверхні. Мікроструктура контактної матеріалу є композицією, що складається з різних компонентів. Тому, зміна фазового складу, процесу дифузії, що супроводжується виникненням вакансій, дислокацій, дефектів кристалічної решітки необхідно розглядати з точки зору не тільки теорії твердого тіла, але і термоемісійних процесів.

В работе рассмотрены процессы в приелектродных областях электрических контактов, в частности, развитие катодных пятен и образование эрозии на его рабочей поверхности. Микроструктура контактного материала представляет собой композицию, состоящую из различных компонентов. Поэтому, изменение фазового состава, процесса диффузии, который сопровождается возникновением вакансий, дислокаций, дефектов кристаллической решетки, необходимо рассматривать с точки зрения не только теории твердого тела, но и термоэмиссионных процессов.

Введение и актуальность работы. Применение новых материалов в различных электротехнических устройствах является актуальным, т.к. это дает улучшение параметров и характеристик срабатывания различных систем и уменьшение массогабаритных показателей конструкций, экономии энергоресурсов.

Как известно, основным узлом электрических аппаратов является контактная система. Учитывая основные требования к электрическим аппаратам, и в частности к контактам, многие исследователи идут по пути создания таких новых материалов, где бы применялись недорогостоящие, нетоксичные компоненты.

Процессы, как на поверхности, так и внутри контактных композиций очень сложны и разнообразны, которые очень влияют на характер и степень эрозии рабочей поверхности. За последние годы опубликовано много работ, посвященных теории развития катодных процессов дугового разряда на рабочей поверхности электрических контактов. Работы ведутся в направлениях как уменьшения действия процесса эрозии, так и более рационального использования серебра в контактах.

Таким образом, на основании общего подхода к исследованию прикатодных областей с учетом ряда допущений и поставленных определенных задач можно определить распределение параметров по длине прикатодной зоны, ее размер, катодное падение потенциала, температурное поле катода и т.п. Катодные процессы представляют собой взаимосвязанную замкнутую систему явлений, протекающих в прикатодной области, на поверхности и в теле самого контакта. Поэтому, для повышения дугостойкости контактной композиции, необходимо