

## ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБМОТОК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Федоров М.М., Мазур А.А., Стряпан Р.В.

Донецкий национальный технический университет

*In the article was taken analysis of existing methods for temperature control based on immediate temperature measuring and also promising methods of indirect estimation of thermal conditions electric motor windings. In the article was shown the creation perspectives of those systems, that allow to realize control of electric motors winding temperature, expended resources of isolated materials, forecasting of winding temperature in various operating modes.*

*It was considered the ways of rising for a simulation quality of thermal conditions electric motor windings in control and forecasting systems. It was proposed the methods, that combine a mathematical simulation with an adjustment according to a measured values.*

Тепловое состояние обмоток в значительной степени определяет надежную эксплуатацию электрических машин, поэтому контроль температуры обмоток и прогнозирование ее состояния в возможных режимах работы является актуальной задачей. Прежде всего это относится к созданию устройств защиты обмоток, когда температура ее изоляции превышает допустимую для соответствующего класса изоляции и ее срок службы резко уменьшается. Контроль температуры обмоток позволяет создавать устройства по учету расхода ресурса изоляционных материалов. Кроме того опасность представляют и высокие скорости нарастания температуры (более 8 град/сек.), когда разрушение изоляции обмоток может произойти при величинах температуры меньше допустимой. Особые требования к методам измерения температуры предъявляют при различных тепловых испытаниях. Например при проведении испытаний на нагревание или исследовании тепловых процессов при различных условиях работы электрических машин. Картина теплового состояния обмоток может меняться в различных повторно-кратковременных режимах. В этом случае важную роль играет прогнозирование теплового состояния в этих режимах. Это прежде всего относится к квазиустановившемуся режиму, когда обмотки электродвигателя испытывают наибольшие тепловые нагрузки. В том случае, если температура в квазиустановившемся состоянии превышает допустимую, надо определить возможное число включений.

В общем случае применяемые в настоящее время методы контроля температуры можно разделить на две группы: методы основанные на непосредственном измерении температуры обмоток и методы основанные на косвенной оценке теплового состояния путем моделирования по величине мощности источников тепла (потери в элементах конструкции электрических машин). Непосредственный контроль температуры можно осуществить с помощью встроенных датчиков или измерения параметров, находящихся в функциональной зависимости от температуры (сопротивление обмоток, теплоизлучение) и пр.

Встраиваемые в обмотку датчики могут иметь нелинейные (релейные) характеристики, когда их параметры резко изменяются при определенной температуре (биметаллические элементы, позисторы и др.) Такие датчики используются в устройствах тепловой защиты. Датчики температуры с использованием терморезисторов имеют линейные характеристики и могут использоваться также в устройствах непрерывного контроля температуры. Встраиваемые датчики температуры имеют неоспоримые преимущества, однако их применение в системах контроля температуры связано с определенными трудностями, возникающими как в технологическом процессе, например, сложность встраивания датчиков в обмотку при машинной намотке, так и при их эксплуатации, такими как передача слабых сигналов от датчиков температуры в панель управления электрической машины. Инерционность датчиков ограничивает возможность получения сигналов пропорциональных скорости нарастания температуры, позволяющих предотвращать нарушения изоляции обмоток. Имеют место случаи, когда системы со встраиваемыми датчиками практически применить невозможно. К таким следует отнести системы, в которых необходимо измерить температуру вращающихся частей электрических машин, электродвигателей подвижных механизмов, обмоток высоковольтных электрических машин и пр.

Измерение интенсивности инфракрасного излучения от элементов конструкции электрических машин используется для контроля их температуры с помощью тепловизоров. В этом устройстве сигнал через объектив с частотой 25 кадров в секунду попадает на матричный пироприемник, где происходит преобразование теплового сигнала в электрический. Далее сигнал усиливается, преобразуется в цифровой сигнал и передается на обработку в компьютер. В соответствии с заданной программой компьютер «рисует» термограммы в псевдоцветах. С помощью тепловизора можно получить изменение температуры в различных элементах конструкции машин с высокой точностью. Его использование дает хорошие возможности изучения тепловых процессов в электрических машинах. Широкое внедрение тепловизоров в устройствах теплового контроля ограничено их высокой стоимостью.

Величина сопротивления обмоток электрических машин в диапазоне температур от 0 до 160° С, что соответствует допустимой температуре изоляции класса F изменяется в полтора раза. Этот факт делает

привлекательным использование этого свойства в устройствах контроля температуры. Однако, несмотря на то, что имеется ряд схем, рекомендуемых стандартом СЭВ, для измерения сопротивления обмоток работающей машины, практического применения устройства подобного типа не нашли. Они имеют ограниченное применение для контроля температуры обмоток электродвигателей, отключенных от сети в период пауз.

В устройствах теплового контроля и защиты от тепловых перегрузок, основанных на косвенной оценке температуры обмоток, отсутствуют датчики температуры, а, следовательно, и присущие им недостатки. Их принцип действия основан на моделировании теплового состояния по величине греющих потерь. Важнейшим требованием к подобным системам является выбор тепловой модели, позволяющей адекватно воспроизводить характер тепловых переходных процессов в узлах электрических машин при переменной нагрузке.

В качестве тепловых моделей могут быть использованы эквивалентные тепловые схемы (ЭТС) замещения электрических машин, дополненные теплоемкостями. Они имеют ряд неоспоримых преимуществ, таких как, возможность контроля с помощью одной модели температуры нескольких элементов конструкции; наличие хорошо разработанных методов расчета их пассивных параметров (теплопроводностей и теплоемкостей) и др. Однако их применение связано с рядом объективных трудностей. Прежде всего, это относится к расчету и выбору параметров ЭТС. Исходными данными для расчета теплопроводностей и теплоемкостей являются массогабаритные показатели и режимы охлаждения. Результаты расчета нуждаются в экспериментальной проверке статических и динамических выходных характеристик, несовпадение которых может привести к значительным ошибкам при моделировании тепловых процессов в нестационарных режимах работы. Методы сравнения характеристик и коррекция параметров ЭТС затруднены из-за большого количества выходных характеристик и корректирующих элементов в схеме ЭТС. В настоящее время подобные методы отсутствуют, и их разработка требует соответствующего теоретического обоснования. В этой связи перспективным является использование разработанных в ДонНТУ динамических тепловых моделей узлов (ДТМУ) электрических машин [1]. Они имеют значительно меньшее количество пассивных элементов, чем ЭТС. Исходные данные для расчета их параметров получают из кривых нагрева и охлаждения соответствующего узла электрической машины, представляющих собой интегральные характеристики, учитывающие массогабаритные показатели, режим работы системы охлаждения и уровень потерь в элементах конструкции машин.

Входные сигналы динамических тепловых моделей должны быть пропорциональными потерям в элементах конструкции электрической машины. Для обеспечения высокого качества моделирования необходимо учитывать специфические особенности, определяющие величины потерь в различных режимах работы [2]. Потери в стали  $r_{ст}$  пропорциональны квадрату основного магнитного потока  $\Phi$  (индукции в сечениях магнитопровода). Сигнал, пропорциональный  $r_{ст}$ , может быть сформирован по величине напряжения обмотки статора. Однако, при значительных колебаниях напряжения сети, когда нарушается прямая зависимость с магнитным потоком, в системе должна быть предусмотрена возможность формирования напряжения намагничивающего контура  $U_0$ . Для двигателей, у которых предусмотрено частотное регулирование, входным сигналом должна быть и величина частоты, позволяющая учесть функциональную зависимость потери в стали от частоты.

При формировании сигнала, пропорционального переменным потерям, необходимо учесть квадратичную зависимость от тока и функциональную зависимость сопротивления обмоток от температуры. Ток обмотки статора может быть измерен с помощью соответствующих датчиков, и его величина также является входным сигналом. Ток обмотки ротора не всегда находится в прямой зависимости от тока статора. Его измерение затруднительно даже у АД с фазным ротором, поэтому в системах косвенного контроля температуры должно быть предусмотрено формирование величины тока ротора.

Качество моделирования теплового состояния обмоток электрической машины можно существенно повысить периодически вводя коррекцию температуры. Ее величину можно получить путем измерения сопротивления обмотки статора в период пауз. Подобный подход лишен недостатков присущих датчикам температуры, кроме того в период пауз обмотки отключены от сети. Для создания подобных систем контроля необходимо решить комплекс теоретических и практических вопросов. Таких как периодичность измерений, способы измерения сопротивления обмоток, функциональную зависимость температуры обмоток статора и ротора (при контроле температуры обмотки ротора) и др.

Периодическое измерение температур обмоток является перспективным при создании самонастраивающихся систем, у которых по результатам непосредственного измерения узлов электрических машин осуществляется коррекция пассивных параметров модели.

Из вышеизложенного следует, что при создании систем контроля теплового состояния перспективным является использование в них методов непосредственной и косвенной оценки температуры. При неоспоримых достоинствах непосредственного измерения, методы моделирования позволяют решить задачи контроля температуры узлов машины в которых измерение температуры практически невозможно.

Кроме того при использовании методов моделирования легко получить величины скорости нарастания температуры в обмотках, осуществить контроль расхода ресурса изоляционных материалов. Методы моделирования можно использовать и при прогнозировании температуры в различных режимах работы машин.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Федоров М.М. Динамические тепловые модели узлов электрических машин // Электромашинобудовання та електрообладнання, - Київ – 1999 - №53. С. 70 – 73
2. Основы построения системы контроля ресурса изоляционных материалов обмоток электрических машин / Федоров М.М., Денник В.Ф., Михайлов В.Е., Малеев Д.М.// 36. праць ДонНТУ. Серія електротехніка і енергетика, - Донецьк – 2002. – Вип. 41 С.57-60