

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ДИАГНОСТИКИ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Гусаров А.А., Гусаров А.А. инж., Ковалев Е.Б.
Донецкий национальный технический университет

Введение. Современные экономические условия [1] ставят задачу максимально эффективного хозяйствования, в том числе максимально жесткую экономию и рациональное использование оборудования.

Поставленная задача может быть решена, за счет продления срока службы оборудования, которое обеспечивается не только его соответствующей эксплуатацией, но и его диагностированием как в эксплуатации так на стадии сдачи в эксплуатацию.

Такой подход предопределяет развитие и внедрение различных методов диагностики состояния электрооборудования и его защиты. Следует отметить также тенденцию к переходу от отдельных приборов диагностики к мобильным компьютеризированным комплексам, позволяющим получить полную качественную и количественную информацию о процессах, происходящих в двигателе и о его параметрах.

Состояние вопроса. Возможная структурная схема системы контроля и диагностики [2], [3], [4] состоит из измерительно-преобразовательного комплекса и вычислительного комплекса, соединенного с измерительно-преобразовательным комплексом линией связи.

Измерительно-преобразовательный комплекс состоит из измерительной и преобразовательной частей. Измерительная часть включает в себя датчики тока и напряжения, нормирующие усилители и дискретные измерители частоты сети и скорости вращения ротора.

Преобразовательная часть включает в себя устройства аналого-цифровых преобразователей и блок управления.

В функции комплекса входит: непрерывное измерение токов и напряжений, измерение скорости вращения ротора двигателя, частоты сети с последующей передачей их в вычислительный комплекс по линии связи через фиксированные промежутки времени, а также, в случае возникновения аварийной ситуации формирование команды на отключение двигателя. Комплекс может быть выполнен на базе однокристалльной микро-ЭВМ.

На основании данных величин напряжения питания, потребляемого тока, частоты вращения ротора и частоты питающего напряжения, полученных от измерительно-преобразовательного комплекса и математической модели двигателя, рассчитываются параметры схемы замещения, по которым судят о состоянии двигателя.

Особое место в оценке технического состояния двигателя играет температура обмоток, которая является основой, как для его температурной диагностики, так и защиты. Причем роль температурной диагностики и температурной защиты может выполнять одна общая система, либо две независимые.

Защита должна отключить электродвигатель при достижении средней температуры обмотки температуры регламентированной требованиями ГОСТ 27888-88 как при медленно нарастающих тепловых перегрузках, так и в наиболее тяжелых аварийных и переходных режимах работы двигателя.

Наиболее тяжелыми аварийными режимами работы электродвигателей является заклинивание механизма после установившегося длительного режима работы и пуск на заклиненный механизм.

В литературе [13] приведены источники погрешности определения температур:

- при медленно нарастающей тепловой перегрузке: погрешность обуславливается выбором точки установки термодетектора и погрешность измерения температуры обмотки термодетектором в месте установки;
- при быстро нарастающей перегрузке к этим погрешностям добавляются еще погрешность, обусловленная изменением формы поля температур, в зависимости от времени и конечной величиной теплоемкости термодетектора.

Это приводит, в первом случае, к зависимости сопротивлений теплопроводности от времени и во втором случае – к зависимости сопротивлений теплопроводности от скорости изменения температуры; погрешность, обусловленная конечной величиной теплоемкости термодетектора, приводит к отставанию роста температуры датчика от роста температуры обмотки статора двигателя.

Рост температуры обмотки выше, чем рост температуры датчика. Двигатель выходит из строя раньше, чем срабатывает защита.

В пользу температурной диагностики электродвигателей, в процессе их работы, говорит и тот факт, что реальные параметры привода отличаются от номинальных [6] для электродвигателя по параметрам окружающей среды, энергоснабжения и рабочего механизма.

К основным параметрам привода, влияющим на температуру обмоток электродвигателей можно отнести:

1. Параметры окружающей температуры, в первую очередь отклонения температуры окружающей среды от заданной величины как в сторону повышения, так в сторону уменьшения. Эти отклонения температуры

вызывают [9] по сравнению с установленной мощностью, либо повышение допустимой мощности, либо ее снижение.

2. Параметры энергоснабжения:

- Работа от длинных линий питания, приводящая к зависимости напряжения на зажимах двигателя от потребляемого тока, а также к повышенной не симметрии напряжений [10], [11].
- Работа от тиристорных преобразователей, а, следовательно, работа от несинусоидального напряжения и при не номинальных оборотах вращения [12].

3. Параметры рабочего механизма.

- Тяжелые условия пуска, обусловленные высоким моментом сопротивления или моментом инерции механизма.
- Режимы с частыми пусками.
- Случайное стохастическое во времени изменение момента нагрузки при нестабильной ее средней величине.

Асинхронные электродвигатели широко используются в различных отраслях народного хозяйства. В зависимости от режима работы во всех асинхронных электродвигателях возникают нестационарные тепловые процессы. Они отличаются от стационарных или установившихся тем, что температура нагрева элементов конструкции двигателя изменяется во времени, т.е. кривые нагрева содержат установившиеся и свободные составляющие.

Эти условия могут приводить к повышенным перегревам двигателей, а, следовательно, к преждевременному старению изоляции и выходу двигателей из строя.

Кроме этого на тепловое состояние двигателя оказывают влияние и изменения, прошедшие в элементах двигателя, например засорение вентиляционных каналов, разрушение клетки ротора, подшипников и т. д., в основном, приводящие к увеличению нагрева двигателя.

Цель работы. Разработка системы температурной диагностики и защиты асинхронных электродвигателей для различных условий и режимов работы.

Содержание работы. В зависимости от скорости изменения температуры, согласно [5], все режимы работы электродвигателей, могут быть разделены на две категории:

1. Режимы с медленно нарастающей тепловой перегрузкой, согласно [5] характеризующиеся медленным повышением температуры сверх нормальной рабочей температуры. Изменение температуры защищаемой части происходит достаточно медленно, так что температура термодетектора или температурно-токового реле следует за температурой этой части без существенного отставания.

Медленно нарастающая тепловая перегрузка может быть вызвана, например, следующими причинами:

- дефектами вентиляции или вентиляционной системы, например, частичной блокировкой вентиляционных каналов, чрезмерным количеством пыли, грязи на обмотках или на охлаждающих ребрах станины;

- чрезмерным повышением температуры окружающей среды или температуры хладагента;

- постепенным возрастанием механической перегрузки;

- длительным падением или повышением напряжения питания машины;

2. Режимы с быстро нарастающей тепловой перегрузкой согласно [5], характеризующиеся быстрым повышением температуры сверх нормальной рабочей температуры. Изменение температуры защищаемой части может быть слишком быстрым, так что температура термодетектора или температурно-токового реле не может следовать за температурой этой части без отставания. Это может привести к значительной разности температур между термодетектором или температурно-токовым реле и защищаемой частью.

Быстро нарастающая тепловая перегрузка может быть вызвана:

- затормаживанием машины или в некоторых случаях обрывом фазы;

- пуском машины при аномальных условиях (чрезмерно большая инерция, слишком низкое напряжение, чрезмерно высокий момент нагрузки).

Анализ литературы по современным системам температурной диагностики электродвигателей, например [6], [7], [14] показывает, что системы непрерывного контроля температуры двигателя можно разбить на два класса, а именно системы, построенные на базе непосредственного измерения температуры, т.е., получающие информацию от температурных датчиков, встроенных в электродвигатель и системы косвенного определения температуры по величине тока потребляемого двигателем.

Системы косвенного определения температуры по величине тока потребляемого двигателем.

Ведущие фирмы уже с середины 80-х годов ввели в свою номенклатуру защитных устройств указанного назначения микропроцессорные реле [8] как аналоговые так и, в последнее время, цифровые.

Переход на цифровые принципы обработки информации в устройствах защиты позволяет реализовать практически любой алгоритм работы защиты.

Такие реле способны наилучшим образом решать эти задачи благодаря созданию и них тепловых моделей, адекватно воспроизводящих температуру обмотки защищаемого двигателя во всех возможных режимах его работы при номинальных основных факторах, влияющих на температуру обмоток электродвигателей в электроприводе, но не обеспечивают температурную диагностику электродвигателя при отклонении основных факторов, влияющих на температуру обмоток электродвигателей от номинальных.

Кроме того, в этом виде защиты используются температурные модели защищаемого электродвигателя, построенные на основе его усредненных параметров, а температуры обмоток даже одного типа электродвигателей могут существенно отличаться от усредненных температур [15].

В системах непосредственного измерения температуры обмоток асинхронных двигателей для получения информации о температуре обмотки в нее встраиваются специальные датчики.

В качестве датчиков температуры могут использоваться как элементы с релейной характеристикой, такие как биметаллические реле или позисторы, так и элементы, не имеющие релейной характеристики, такие как термопары или термосопротивления.

1. Этот принцип защиты позволяет, согласно [5], [6], создать простые и эффективные средства защиты электрических машин от чрезмерного повышения температуры, включая случаи, когда рост температуры вызван не номинальными основными факторами, влияющих на температуру обмоток электродвигателей в электроприводе в том числе неисправностью системы охлаждения или высокой температурой окружающей среды и др.

2. Защита, построенная на принципе контроля температуры защищаемых частей электродвигателя, позволяет защищать отдельные элементы конструкции двигателя, например подшипники и предупреждать о недопустимо высоких температурах поверхности двигателя, что является важным для взрывонеопасных машин, у которых эта температура ограничена категорией взрывоопасной смеси, в которой работает двигатель.

3. Этот вид защиты построен по принципу контроля температуры в нескольких точках и не позволяет оценить среднее превышение температуры защищаемой обмотки, что соответствует требованиям стандарта [5], [9].

4. Для определения среднего перегрева обмоток необходимо использовать модель двигателя либо аналоговую, либо цифровую.

5. Этот вид защиты имеет большую погрешность определения температуры при быстро нарастающих перегрузках, обусловленную конечной величиной теплоемкости термодетектора, приводящую к отставанию температуры датчика от температуры обмотки [13].

Таким образом, соответствующим выбором математической тепловой модели электродвигателя, в системах непосредственного измерения температуры обмоток, можно получить надежные данные о тепловом состоянии двигателя для целей его диагностики только в режимах с медленно изменяющимися нагрузками.

Иными словами для создания системы диагностики электродвигателя при медленно и быстро нарастающих нагрузках необходимо использовать комбинированные системы измерения температуры, получающие информацию от тока и температуры двигателя, т.е. температурно-токовые

Выводы.

1. Существующие системы температурной диагностики асинхронных двигателей могут быть построены на основе:

1.1. Косвенного определения температуры обмоток по результатам измерения потребляемого тока.

1.2. Непосредственного измерения температуры обмоток с помощью встроенных датчиков температуры.

2. Существующие системы температурной диагностики асинхронных двигателей не позволяют надежно осуществлять температурную диагностику асинхронных электродвигателей во всех режимах работы и условиях эксплуатации привода, а именно:

2.1. Системы диагностики с косвенным определением температуры по величине тока потребляемого двигателем:

- обеспечивают температурную диагностику электродвигателя при быстро нарастающих перегрузках практически с любой скоростью изменения температуры;

- не обеспечивают температурную диагностику электродвигателя при не номинальных основных параметрах, влияющих на температуру обмоток электродвигателей в электроприводе, в том числе при параметрах окружающей температуры, параметрах энергоснабжения и рабочего механизма.

- не позволяют учитывать индивидуальные отклонения температур конкретного электродвигателя от усредненных величин нагрева т.к. построены на основе тепловой модели усредненного двигателя данного типа.

2.2. Системы диагностики с непосредственным измерением температуры обмоток:

- обеспечивают температурную диагностику электродвигателя при не номинальных основных параметрах, влияющих на температуру обмоток электродвигателей в электроприводе, в том числе при параметрах окружающей температуры, параметрах энергоснабжения и рабочего механизма в режимах с медленно изменяющимися нагрузками;

- позволяют учитывать индивидуальные отклонения температур конкретного электродвигателя от усредненных величин нагрева.

- не обеспечивают температурную диагностику электродвигателя при быстро нарастающих нагрузках.

3. Для построения надежной температурной диагностики электродвигателя во всех режимах и условиях работы электродвигателей в электроприводе необходимо:

- в систему диагностики с косвенным определением температуры по величине тока потребляемого двигателем вводить данные температуры защищаемого элемента от датчика температуры;

- в системах диагностики с непосредственным измерением температуры обмоток вводит в цепь измерения температуры обратную связь по току.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лашко Ю.В., Черный А.П. Критерий принятия решения в интеллектуальных защитах асинхронных двигателей. // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. Наукові праці. Кременчук, КДПУ, 2003. - Вип. 21 (19). Т.1.
2. Федоров М.М., Малеев Д.М. Применение микропроцессорных систем для контроля и прогнозирования теплового состояния асинхронных двигателей // Збірник наукових праць ДонДТУ, серія «Електротехніка і енергетика», вип. 21, Донецьк –2000, С. 133-136.
3. Федоров М.М., Денник В.Ф., Малеев Д.М. Контроль температурного состояния обмоток асинхронного двигателя в повторно-кратковременном режиме работы // Сборник научных трудов ДонГТУ, серия «Электротехника и энергетика», вып.4, Донецк –1999, С. 127-130.
4. Федоров М.М., Малеев Д.М. Микропроцессорная система контроля тепловых и электромеханических характеристик асинхронных двигателей // Наукові праці Донецького державного технічного університету, серія «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка», вип.6, Донецьк –1999, С. 310-314.
5. ГОСТ 27888-88 Машины электрические вращающиеся. Встроенная температурная защита. Правила защиты. 17 с.
6. Ковалев Е.Б., Невзлин Б.И., Аль-Фаваир М. Сравнение различных типов защит от перегревов электродвигателей в условиях эксплуатации горных машин. // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. № 2 [72]. 2004. С. 92-98.
7. Зимин Е.Н. Защита асинхронных двигателей до 500 В./ Энергия. - М: 1967. - 88 с.
8. Бугаев Г.А., Леонтьев А.И., Ерохин Е.Ю. Павлов Д.А. / Математические модели нагрева и охлаждения асинхронных двигателей для микропроцессорного реле тепловой защиты. - Электротехника. 2001, №2. С. 51-54.
9. ГОСТ 183 Машины электрические. Общие технические требования.
10. Федоров М.М., Алексеев Е.Р. Влияние колебания напряжения сети на электромеханические и тепловые характеристики асинхронных двигателей // Сборник научных трудов ДонГТУ, серия «Электротехника и энергетика», вып.2, Донецк –1998, С. 172-177.
11. Федоров М.М., Денник В.Ф., Корошенко А.В. Исследование распределения температур узлов асинхронного двигателя при не симметрии питающих напряжений // Сборник научных трудов ДонГТУ, серия «Электротехника и энергетика», вып.4, Донецк –1999, С. 138-141.
12. Ковалев Е.Б., Потапов В.Б., Ковалев К.Е. Влияние индуктивного сопротивления асинхронных электродвигателей на их характеристики при работе от тиристорных преобразователей частоты. // Труды Донецкого государственного технического университета. Серия Электротехника и Энергетика. Вып. 4. Донецк 1999 г. с. 160-162.
13. Ковалев Е.Б., Аль-Фаваир, Невзлин Б.И. Характеристики температурной защиты электродвигателей от быстро нарастающих перегрузок.// «Праці». Науковий журнал.- Луганське відділення Міжнародної інформації. - № 2 (9), 2004. - с. 7-14.
14. Захаров П.А. К вопросу создания комплексной системы диагностирования электроприводного газоперекачивающего агрегата./ Труды международной четырнадцатой научно-технической конференции «Электроприводы переменного тока», 13-16 марта 2007 г. Издательство УМЦ УПИ. Екатеринбург с.245-248.
15. Ковалев Е.Б., Расков Ю.В., Голянд Б. С. Статистический анализ и расчет нагрева асинхронного электродвигателя // Электричество 1975. - № 11. - С. 37-40.