

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В АСИНХРОННОМ ДВИГАТЕЛЕ

Пеньков О.В.

Донецкий государственный технический университет

R504A@FCITA.DN.UA.

In this paper research the temperatures simulation of squirrel-cage asynchronous driver under transient state is investigated. Thermal calculations are realized by method of equivalent thermal network. The simulation destined for temperature determination under various transient state of load and driver speed. The obtained trajectories are very close to the experimentally determined results.

Тенденция к повышенному использованию активных элементов электрических машин приводит к повышению мощности в тех же или минимально увеличенных габаритных размерах. Одно из основных направлений решения данной задачи – снижение нагрева элементов электрической машины. Эксплуатация асинхронных двигателей (АД) в различных режимах работы характеризуется увеличением тока статора и пускового момента, что приводит к увеличению тепловыделения в активных элементах и, следовательно, к сокращению времени рабочего цикла.

Максимально допустимые по эксплуатационным критериям температуры основных конструктивных частей электрической машины являются одним из определяющих факторов. Основная задача любого теплового расчета является определение температуры активных частей машины с целью проверки выполнения требований по допустимому уровню нагреву. Асинхронные двигатели (АД), эксплуатируемые в приводах переменного тока, работают в условиях, отличающихся от принятых при проектировании. Питание обмотки статора АД от преобразователя частоты при разных нагрузках на валу и при разной частоте вращения позволяет перераспределять потери в элементах электрической машины [2]. При этом, как правило, эксплуатационные потери отличаются от расчетных потерь. При работе машина нагревается неравномерно даже при ее принудительном охлаждении. Следовательно, необходимо исследовать различные законы совместного регулирования напряжения и частоты при заданной зависимости теплоотдачи от скорости вращения и допустимой по условиям нагрева продолжительности работы АД. Данная проблема требует комплексного исследования неустановившегося и установившегося тепловых процессов в асинхронной машине.

В основу тепловых расчетов всех видов электрических машин заложены методы расчета температурных полей, которые учитывают разнообразие условий теплоотвода. При определении превышения температур в различных частях двигателя результаты, соответствующие реальным, можно получить, используя для исследования тепловых процессов АД многоступенчатую теорию нагрева. Согласно которой двигатель рассматривается как система, состоящая из нескольких различных взаимосвязанных в тепловом отношении тел.

В настоящее время наиболее широкое применение для решения задач прогнозирования и моделирования нагрева отдельных элементов двигателя получил метод тепловых схем, имитирующий реальные пути передачи тепловых потоков в машине. Разработаны различные варианты тепловых схем асинхронных двигателей для различных режимов работы [1]. В наиболее общем случае, АД представляется как система нагретых тел, связанных тепловыми проводимостями.

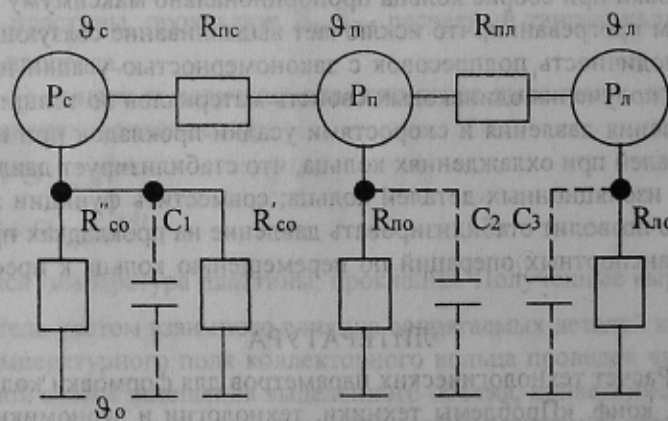


Рисунок 1 – Фрагмент тепловой модели асинхронного двигателя

На рис. 1 приведен фрагмент тепловой модели АД. В представленной выше модели, для получения предварительной информации о тепловом состоянии машины, произведен учет только основных направлений отвода теплоты. При этом тепловые поля в направлении тепловых потоков считаются одномерными. Схема на

рис. 1 отражает следующие пути теплопередачи: от пазовой части обмотки (P_n) через изоляцию паза к магнитопроводу (R_{nc}); от магнитопровода к окружающей среде через поверхности теплоотдачи (R'_{co} и R''_{co}); между пазовой (P_n) и лобовыми (P_l) частями обмотки (R_{nl}); от лобовых частей через изоляцию к окружающему воздуху (R_{nb}). Сопротивление R_{no} учитывает наличие радиальных каналов.

В соответствии с данной схемой замещения для исследования стационарных и динамических тепло-вых режимов получены следующие уравнения теплового баланса, записанные в матричной форме:

$$[dV] = [1/C_{th}^{(i)}] [P] - [1/C_{th}^{(i)} R_{th}^{(ij)}] [V - V_0]. \quad (1)$$

В представленном выше соотношении (1) приняты следующие обозначения:

V, dV - векторы температур в узлах и их производные;

P - вектор потерь мощности в узлах;

$[1/C_{th}^{(i)}]$ - обращенная матрица тепловых емкостей в узлах;

$1/C_{th}^{(i)} R_{th}^{(ij)}$ - обращенная матрица тепловых постоянных времени в узлах;

$[R_{th}^{(ij)}]$ - матрица тепловых сопротивлений между узлами.

Матричные уравнения энергетического баланса (1) являются нелинейными. С целью уменьшения порядка решаемой системы принимаем следующие допущения. При составлении схемы замещения не учитываются тепловые сопротивления большой величины. В схеме замещения остаются только тепловые сопротивления малой величины. Несколько тепловых емкостей заменяются одной, равной по величине сумме замещаемых тепловых емкостей. Данные допущения были приняты на основе следующих рассуждений. В таких телах как железо статора, корпус, обмотка статора, электрическая изоляция доминирует передачи тепла через проводимость, и только в небольшой степени через излучение. В воздушных зазорах машины перенос тепла осуществляется как путем проводимости, так путем излучения. Тепловое сопротивление изменяется вместе с температурой и величиной воздушных зазоров в машине. Как следствие, в схеме замещения они могут быть представлены тепловыми сопротивлениями большей величины. Следовательно точность определения тепловых сопротивлений воздушных промежутков, размеры которых известны, невелика. Поэтому величины данных тепловых сопротивлений должны корректироваться с учетом тепловых испытаний.

Представленная выше тепловая модель асинхронного двигателя может быть применима в случае, когда известны возмущающие факторы, то есть потери мощности в узлах. В общем случае эти потери мощности должны вычисляться предварительно с учетом измеряемых электрических переменных двигателя.

Двигатель - это объект с тепловыми постоянными времени порядка десятков минут, в то время как электромагнитные постоянные времени - десятки миллисекунд. Поэтому если двигатель работает в режимах, где время электромагнитных процессов весьма мало, влиянием динамических электромагнитных процессов на состояние машины можно пренебречь.

На основании выше приведенных соотношений и рассуждений был разработан алгоритм расчета тепловых процессов в асинхронной машине, питаемой от преобразователя частоты. Проведенные расчеты показали, что не каждый закон частотного управления приемлем для глубокого регулирования скорости. Из-за резкого увеличения потерь в двигателе и непостоянства электромагнитных параметров длительная работа с постоянной перегрузочной способностью проблематична. Расчеты показывают, что для достижения максимального значения допустимого по нагреву момента при изменении частоты вниз от номинальной магнитный поток должен быть выше номинального. Расчетные значения магнитного потока находятся в нелинейной области характеристики холостого хода. Следовательно, любой закон частотного управления, обеспечивающий максимально-допустимый по нагреву момент, должен определяться с учетом изменения электромагнитных параметров двигателя. На основе математической модели асинхронной машины осуществляются расчеты изменения теплоотдачи соответствующих частей двигателя. При помощи прикладных программ проводятся предварительные или поверочные расчеты.

Предложенная модель не в полной мере учитывает факторы влияющие на тепловые процессы в двигателе. Данную математическую модель рекомендуется использовать на этапе предварительного проектирования асинхронных машин при частотном управлении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Силайлов Г. А. Тепловые, гидравлические и аэродинамические расчеты в электрических машинах. - М. Высшая школа, 1989. - 240 с.
2. Петрушин В. С. Асинхронные короткозамкнутые двигатели в системах полупроводникового электропривода. - О. Одесса 1997. - 146 с.