

# МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПРИ ПИТАНИИ ОТ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ НАПРЯЖЕНИЯ

А. С. Третьяков, О. А. Капитонов  
кафедра «Электропривод и автоматизация промышленных установок»,  
ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет»  
Могилев, Республика Беларусь  
E-mail: {loggie121, kapitonov1987}@gmail.com

*В тезисах рассматриваются вопросы математического описания тепловентиляционных режимов асинхронных электродвигателей. Представлена математическая модель, описывающая электромагнитные, энергетические, тепловые и вентиляционные процессы, и ее составные части. Даются рекомендации по использованию данной модели для электродвигателей стандартного исполнения.*

## ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных факторов, определяющих эксплуатационный срок службы асинхронных электродвигателей, является обеспечение номинального теплового режима. Важную роль в этом процессе играет система охлаждения, обеспечивающая эффективный отвод тепловых потерь. Правильный расчет вентиляционной цепи и вентилятора позволит эффективно вывести тепловые потери со станины, обеспечивая тем самым номинальный температурный режим, как следствие, номинальные параметры.

Цель данной работы – разработка математической модели, обеспечивающей расчет и моделирование тепловентиляционных режимов работы исследуемого асинхронного электродвигателя с учетом электродинамики и энергетики моделируемого асинхронного электродвигателя.

### I. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Разработанная модель является многоуровневой и модульной структурой, которая включает в себя следующие возможности:

1. Расчет и моделирование прямого пуска и тормозных режимов асинхронного электродвигателя при питании от синусоидального источника напряжения;
2. Расчет и моделирование работы асинхронного электродвигателя в системе «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель»;
3. Расчет и моделирование работы асинхронного электродвигателя в системе «Регулятор напряжения – асинхронный электродвигатель»;

Разработанная модель включает в себя следующие подуровни:

1. Электромагнитная модель;
2. Энергетическая модель;
3. Тепловая модель;
4. Вентиляционная модель.

Для расчета переходных процессов за период времени использовался математический па-

кет Matlab. В качестве моделируемого объекта использовался асинхронный электродвигатель АИР100S4.

### II. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ МОДЕЛЬ

Электромагнитная модель представляет собой систему дифференциальных уравнений на основе теории обобщенной электрической машины, описывающих электромагнитные процессы, протекающие в электродвигателе [1,2]. В данную модель внесены следующие дополнения:

1. Зависимость сопротивления обмоток статора и ротора от температуры и скольжения;
2. Учет эффекта вытеснения тока статора.

Исходными данными для данной модели являются напряжение питания и параметры схемы замещения. Эти параметры могут быть рассчитаны через каталожные данные моделируемого асинхронного электродвигателя на основе методики, представленной в [3]. Данная модель позволяет получить графики скорости, момента и токов и потокосцеплений статора и ротора.

### III. ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

В основе данной модели лежит понятие энергетической диаграммы асинхронного электродвигателя. Данная модель представляет собой систему уравнений, описывающих энергетические режимы моделируемого асинхронного электродвигателя.

Исходными данными для данной модели являются параметры постоянных потерь, а также результат работы электромагнитной модели. Данная модель позволяет определить переменные потери за цикл работы электродвигателя, а также коэффициент полезного действия и коэффициент мощности.

Полученные параметры потерь являются исходными данными для расчета тепловых режимов.

### IV. ТЕПЛОВАЯ МОДЕЛЬ

Тепловая модель представляет собой систему дифференциальных уравнений, описывающих тепловые режимы работы моделируемого асинхронного электродвигателя. В основе данной модели лежит метод тепловых эквивалентных схем замещения [4,5]. Суть метода заключается в том, что электродвигатель представляется в виде системы однородных тел, связанных тепловыми проводимостями.

Исходными данными для расчета тепловых режимов являются геометрические размеры двигателя для расчета тепловых проводимостей и теплоемкостей узлов эквивалентной схемы замещения, а также результат работы энергетической модели (потери в отдельных узлах электродвигателя)

Итогом работы данной модели является вектор температур отдельных узлов моделируемого асинхронного электродвигателя.

Особенность метода тепловых эквивалентных схем замещения – возможность создания уточненной (полной) и упрощенной схемы замещения. В первом случае на порядок увеличивается трудоемкость расчета исходных данных и сам расчет температур. Для упрощения расчетов при создании данной модели используется упрощенная тепловая эквивалентная схема замещения.

## V. ВЕНТИЛЯЦИОННАЯ МОДЕЛЬ

Вентиляционная модель представляет собой систему уравнений, описывающих вентиляционную сеть моделируемого асинхронного электродвигателя (включая параметры вентилятора), и процесс отвода тепловых потерь со станины электродвигателя [6,7].

Вентиляционная сеть представляет собой систему тел, соединенных между собой аэродинамическими сопротивлениями. Основными этапами вентиляционного расчета являются:

1. Расчет эквивалентного сопротивления вентиляционной сети;
2. Расчет параметров вентилятора;
3. расчет аэродинамических характеристик вентилятора;
4. Расчет температуры нагрева воздуха на выходе из ребер станины.

Исходными данными для расчета являются геометрические размеры вентиляционной сети и вентилятора. Далее полученные расчетные данные поступают в тепловую модель с последующей коррекцией температур отдельных узлов асинхронного электродвигателя. главным условием правильности расчета вентиляционной модели является обеспечение необходимого расхода воздуха для эффективного охлаждения электродвигателя.

## VI. ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИ ПРИ ПИТАНИИ ОТ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

Рассмотренная выше математическая модель выполнена для случая питания от синусоидального источника питания (прямой пуск).

Для создания модели по системе «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель» и «Регулятор напряжения – асинхронный электродвигатель» модифицируется подсистема «Электромагнитная модель». В частности, меняются зависимости для расчета потерь в стали.

## VII. ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ СПЕЦИАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ

Данная модель может быть оптимизирована для случая применения электродвигателей специальной конструкции. В этом случае добавляется модуль одного (асинхронный электродвигатель с двухроторной электромагнетикой ДАС-12), или комплекта двух вспомогательных роторов с вентиляторами-радиаторами (асинхронный электродвигатель с трехроторной электромагнетикой ДАС-14). Основное ограничение для модели в данном случае – это либо моделирование прямого пуска исследуемого электродвигателя, либо его работы в системе «Регулятор напряжения – асинхронный электродвигатель». Дело в том, что данное семейство электродвигателей создано специально для работы только с регуляторами напряжения.

## VIII. ВЫВОДЫ

Верификация экспериментальных осциллограмм и графиков, полученных в результате моделирования, показала высокую точность. Модель позволяет показать взаимосвязь между отводом тепловых потерь, работой вентиляционного потока и энергетикой асинхронного электродвигателя.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ключев В.И. Теория электропривода: Учеб. для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 704 с.: ил.
2. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин. – М.: Высшая школа, 1987, – 248 с.
3. Фираго Б.И. Регулируемые электроприводы переменного тока / Б.И.Фираго, Л.Б.Павлячик. – Мн.: Техноперспектива, 2006. – 363 с.
4. Асинхронные двигатели общего назначения / Е. П. Бойко [и др.]; под ред. В. М. Петрова и А. Э. Кравчика. – М. : Энергия, 1980. – 254 с.
5. Филлипов И. Ф. Теплообмен в электрических машинах. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 260 с.: ил.
6. Виноградов В. И. Вентиляторы электрических машин. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1980. – 200 с., ил.
7. Виноградов В.И. Исследование вентиляторов электрических машин. – Л.: Энергия, 1970.