

СЕКЦИЯ III ЭНЕРГЕТИКА

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

В. В. Попичев

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Беларусь

Научный руководитель Д. И. Зализный

Цель исследования: разработка математической модели, позволяющей в режиме реального времени рассчитывать температуры основных элементов электродвигателя.

Разработка упрощенной математической модели производилась на примере асинхронного двигателя (АД) с короткозамкнутым ротором типа 4АМ112М4.

Базовая математическая модель тепловых процессов АД представлена как система из трех однородных тел (цилиндров): «ротор», «воздушный зазор» и «статор + корпус». Но эта модель не учитывает влияние теплообмена между поверхностью электродвигателя и окружающей средой, поэтому и дает заниженные результаты.

Рассмотрим два вида окружающей среды: внутреннюю и внешнюю. Пусть температура внутренней окружающей среды зависит от нагрева двигателя, а температура внешней окружающей среды – не зависит.

Представим внутреннюю окружающую среду как полый цилиндр с внешним диаметром D_{30} . Внутренняя граница этого цилиндра совпадает с поверхностью двигателя, а внешняя граница соответствует началу области внешней окружающей среды. Внешнюю окружающую среду рассмотрим как полый цилиндр с бесконечно большим внешним диаметром.

На рис. 1 показана конструкция АД как системы тепловых однородных тел (*a*) и структурная схема тепловых процессов в такой системе (*б*).

Каждому однородному телу соответствует значение температуры θ_i на его внутренней границе, где i – номер тела. При этом температуру внешней окружающей среды θ_5 будем считать заранее заданной, полученной в результате измерений.

Дифференциальные уравнения теплового равновесия, описывающие тепловые процессы в рассматриваемой системе, запишутся в виде:

$$\begin{cases} C_1 \cdot \frac{d\theta_1}{dt} + \frac{\theta_1 - \theta_2}{R_1} = P_1; \\ C_2 \cdot \frac{d\theta_2}{dt} + \frac{\theta_2 - \theta_1}{R_1} + \frac{\theta_2 - \theta_3}{R_2} = 0; \\ C_3 \cdot \frac{d\theta_3}{dt} + \frac{\theta_3 - \theta_2}{R_2} + \frac{\theta_3 - \theta_4}{R_3} = P_3; \\ C_4 \cdot \frac{d\theta_4}{dt} + \frac{\theta_4 - \theta_3}{R_3} + \frac{\theta_4 - \theta_5}{R_4} = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где $\theta_1 \dots \theta_5$ – температуры соответствующих однородных тел (рис. 1), °C; $R_1 \dots R_4$ – тепловые сопротивления соответствующих однородных тел, $\frac{^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$; $C_1 \dots C_4$ – теплоемкости соответствующих однородных тел, $\frac{\text{Вт}\cdot\text{с}}{^\circ\text{C}}$; P_1 – потери в роторе, Вт; P_3 – потери в статоре, Вт.

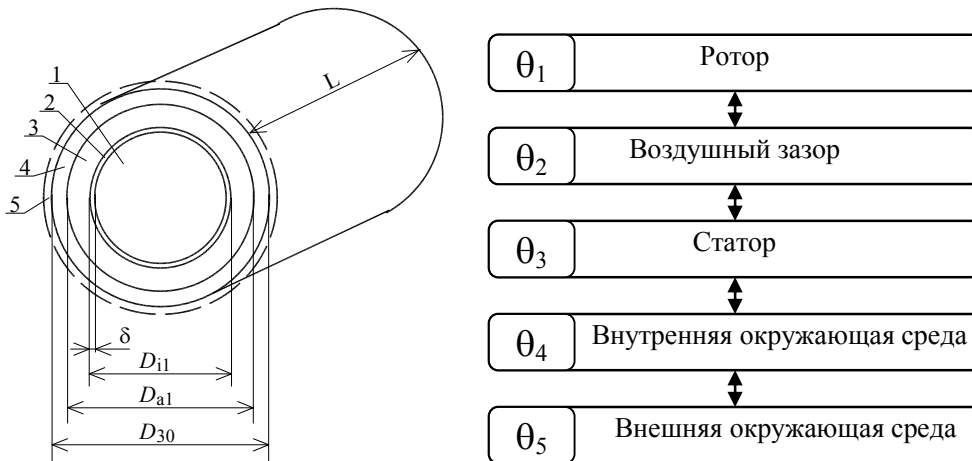


Рис. 1. Представление асинхронного двигателя как системы тепловых однородных тел:

a – конструкция двигателя; δ – ширина воздушного зазора; D_{i1} – внутренний диаметр сердечника статора; D_{a1} – внешний диаметр сердечника статора; D_{30} – диаметр корпуса; l – ротор; 2 – воздушный зазор; 3 – статор; 4 – корпус; 5 – внутренняя окружающая среда; b – структурная схема тепловых процессов

На основе системы уравнений (1) получаем тепловую схему замещения АД, переходные процессы в которой полностью идентичны нестационарным тепловым процессам, и которая позволяет вести расчеты методами теоретической электротехники, что очень удобно и наглядно.

Для этого величины P_1 и P_3 представим в виде источников тока, θ_5 – в виде источника ЭДС, а каждое уравнение системы (1) рассматриваем как уравнения, составленные по первому закону Кирхгофа в узлах искомой схемы. В результате получим схему, приведенную на рис. 2.

Параметры, обозначенные на данной схеме, совпадают с аналогичными параметрами в системе дифференциальных уравнений.

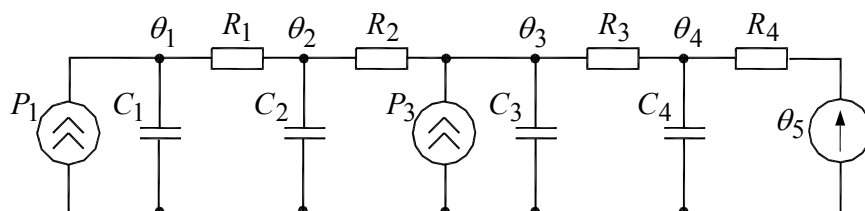


Рис. 2. Тепловая схема замещения асинхронного двигателя с учетом параметров окружающей среды

Данная схема замещения универсальна и позволяет, пользуясь электротехническими методами расчета, получить кривые охлаждения и нагревания в любом промежутке времени при любой нагрузке двигателя.

Для анализа адекватности разработанной модели проводились экспериментальные исследования тепловых процессов в двигателе 4AM112M4. В процессе исследований с помощью цифрового регистратора, соединенного с компьютером, осуществлялось измерение температур воздуха, поверхности двигателя и статора, а также токов статора и фазных напряжений. Цифровой регистратор записывал данные, полученные по всем каналам измерения, в энергонезависимую память и передавал эти данные по интерфейсу RS232S в компьютер.

В результате сравнения данных, полученных во время эксперимента и путем расчета разработанной модели, можно сделать вывод, что исходная математическая модель дает значительные погрешности, так как не учитывает самовентиляцию двигателя и ряд других важных параметров.

Предлагается адаптивная модель, способная автоматически подстраиваться по изменяющиеся условия. Для этого вводятся эквивалентные потери P_4 во внутренней охлаждающей среде, которые рассчитываются косвенно на каждом шаге по непосредственно измеренным значениям токов и температур.

Тепловая схема замещения асинхронного двигателя с учетом дополнительных потерь P_4 во внутренней охлаждающей среде изображена на рис. 3.

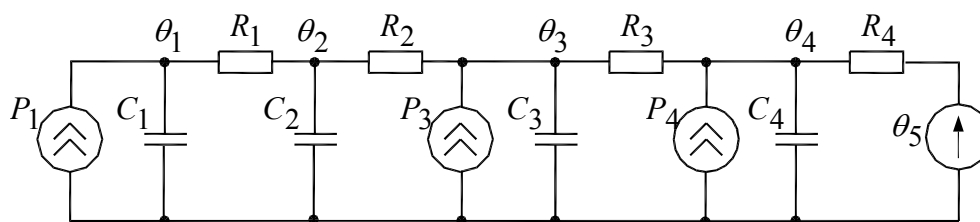


Рис. 3. Тепловая схема замещения асинхронного двигателя с учетом дополнительных потерь P_4 во внутренней охлаждающей среде

Результаты расчета температуры статора двигателя, полученные по адаптивной математической модели, в сравнении с их экспериментальными значениями приведены на рис. 4.

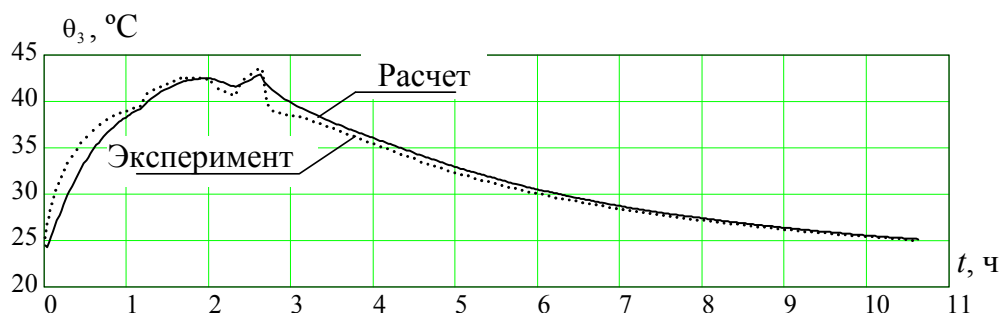


Рис. 4. Расчетные и экспериментальные значения температуры статора двигателя 4AM112M4

Получены следующие показатели качества математической модели. Значения абсолютной погрешности расчета по отношению к эксперименту: максимальное – 3,6 °С, минимальное – 2,2 °С. Коэффициент корреляции: 0,987.

Разработанная математическая модель может быть использована в программном обеспечении устройств защиты и диагностики электродвигателей любых классов напряжений.