

**Дайнеко В.А., к.т.н., зав кафедрой ЭСХП,
Базулина Т.Г., ст. преподаватель, Гольмант Н.С., магистрант
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь**

**ВЫБОР ТЕПЛОЙ МОДЕЛИ
ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ И СИЛОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ**

Повышение эксплуатационной надежности регулируемого электропривода (ЭП) требует непрерывного контроля температурного режима электродвигателя (ЭД) и силового преобразователя (СП) в рабочих режимах.

В составе частотно-регулируемого ЭП электродвигатель, как правило, эксплуатируется при переменных потоке, теплоотдаче и потерях в статоре и роторе. Наиболее чувствительной к нагреву частью АД является изоляция обмотки статора [1, 2, 3]; в силовых преобразователях такой частью являются транзисторы и диоды силовых модулей инвертора и выпрямителя.

Для разработки системы мониторинга теплового состояния ЭП необходимо выполнить обзор с целью выбора модели, позволяющей анализировать температуры ЭД и СП в стационарных и переходных режимах.

Известны как простые тепловые модели асинхронных электрических двигателей, дающие общее представление о нагреве элементов ЭП, так и сложные, требующие информацию о параметрах, известных только заводам-изготовителям [4, 6].

В основу простейшей одномассовой тепловой модели положено уравнение теплового баланса [1, 5]. При построении данной модели делаются следующие допущения – электродвигатель представляется как однородная масса с равномерно распределенными источниками тепла, с бесконечной внутренней теплопроводностью, с теплоотдачей, пропорциональной разности температуры двигателя и окружающей среды. Такая модель используется в косвенных методах проверки электродвигателя по нагреву (метод средних потерь и метод эквивалентных величин). Достоинства одномассовой модели: простота и надежность оценки теплового состояния двигателя при его работе с постоянной мощностью и неизменной температурой

окружающей среды. Недостатки: модель рассчитана на неизменное соотношение потерь в статоре и роторе; она не пригодна для частотно-регулируемых ЭП.

Тепловая схема замещения многомассовой тепловой модели представляет электрический двигатель как совокупность элементов (обмотки, магнитопровод, механические узлы), каждый из которых имеет свой источник тепла, обладает различными теплоемкостью, теплоотдачей и нагревается до различных температур [1, 4]. Вся тепловая система машины заменяется эквивалентной электрической. Создание ее основано на аналогии тепловых потоков и электрических токов, тепловых и электрических сопротивлений: $Q = \Delta\tau / R_T$, где Q – тепловой поток, эквивалентный силе тока I ; $\Delta\tau$ – перепад температур, эквивалентный разности потенциалов ΔU ; R_T – тепловое сопротивление, эквивалентное электрическому сопротивлению R_y . Участки двигателя, однородные в тепловом отношении, заменяются эквивалентными тепловыми сопротивлениями и для них записывается система уравнений теплового баланса.

Достоинством многомассовой модели является точное прогнозирование температуры в любой точке электродвигателя и возможность учета взаимного влияния всех элементов ЭД на тепловое состояние. Недостатки такой модели: для расчета необходимо знать специфические параметры электродвигателей; требуется с высокой точностью измерять температуру в различных точках; решение системы уравнений теплового баланса для каждого элемента схемы двигателя – сложная задача, занимающая большое время.

Двухмассовая тепловая модель с разделением на массу статора и ротора, рассмотренная в [4], предложена для исследования частотно-регулируемого электропривода [6]. Тепловая модель с сосредоточенными тепловыми емкостями и резисторами первой и второй масс, предназначенная для защиты нагретой точки обмотки статора от перегрева во время работы в условиях перегрузки представлена на рисунке 1.

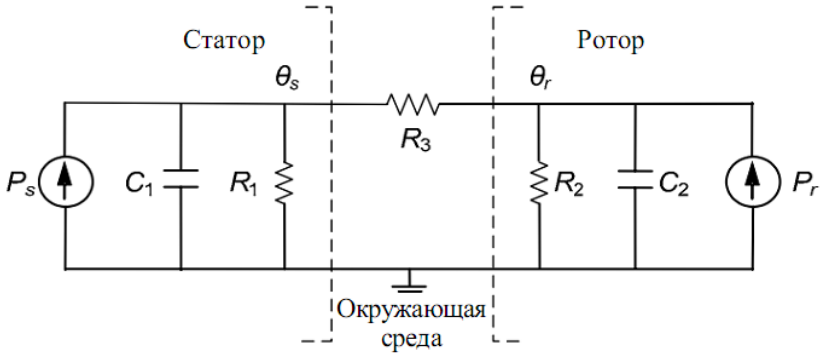


Рисунок 1. Тепловая модель асинхронного электродвигателя с сосредоточенными емкостями и резисторами.

P_S – потери в статоре, P_R – потери в роторе; θ_C – перегрев статора относительно окружающей среды, θ_p – перегрев ротора относительно окружающей среды, C_1 – тепловая емкость статора, C_2 – тепловая емкость ротора, R_1 – тепловое сопротивление статора, R_2 – тепловое сопротивление ротора, R_3 – тепловое сопротивление, связанное с теплопередачей от ротора к статору через воздушный зазор.

В результате проведенного обзора, для дальнейших исследований в качестве базовой выбрана модель, приведенная на рис.2.

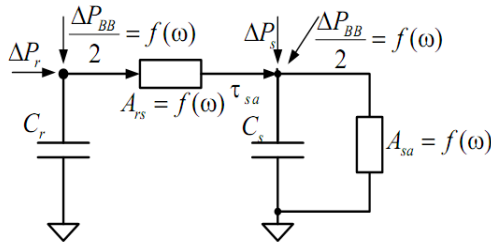


Рисунок 2. Двухмассовая модель асинхронного электродвигателя

Как следует из [6], уравнения для данной двухмассовой модели имеют следующий вид:

$$\frac{d\tau_s}{dt} = \frac{1}{C_s} \left(\Delta P_s + \frac{\Delta P_{\dot{A}\dot{A}}}{2} + A_{sr}(\tau_r - \tau_s) - A_{sa}\tau_s \right)$$

$$\frac{d\tau_r}{dt} = \frac{1}{C_r} \left(\Delta P_r + \frac{\Delta P_{\dot{A}\dot{A}}}{2} + A_{sr}(\tau_r - \tau_s) - A_{sa}\tau_s \right),$$

где τ_s – перегрев статора; τ_r – перегрев ротора; C_s – теплоемкость статора; C_r – теплоемкость ротора; ΔP_s – потери в статорной цепи; ΔP_r – потери в роторной цепи; $\Delta P_{\dot{A}}$ – потери в подшипниках; A_{sr} – тепловое сопротивление перехода «статор-ротор»; A_{sa} – тепловое сопротивление «статор-окружающая среда».

Параметры тепловой проводимости между статором и ротором и между статором и окружающей средой являются величинами переменными, зависящими от частоты вращения. При повышении частоты вращения ротора интенсивность теплообмена возрастает.

Выводы

1. В результате обзора установлено, что одномассовая тепловая модель электродвигателя, используемая в классических методах расчета мощности электродвигателей, не применима для частотно-регулируемого электропривода.

2. При разработке частотно-регулируемого ЭП следует учитывать ухудшение теплоотдачи ЭД при работе на пониженных скоростях, что не позволяет одномассовая модель.

3. Многомассовые модели требуют знания многочисленных конструктивных параметров ЭД, что затрудняет расчеты в реальном времени и ограничивает возможность создания на их основе устройств защиты от перегрева.

4. Выбранная двухмассовая тепловая модель асинхронного электродвигателя учитывает процесс отдельного нагрева ротора и статора, поэтому перспективна для разработок на ее основе защит от перегрева электродвигателей и силовых модулей ПЧ.

Список использованных источников

1. Фираго, Б.И. Регулируемые электроприводы переменного тока / Б.И. Фираго, Л.Б. Павлячик. – Мн.: Техноперспектива, 2006. – 363 с.

2. Прищепов, М.А. Расчет статических характеристик АД с к.з. ротором в двигательном и генераторном режимах при частоте напряжения питания обмоток статора выше номинальной. / М.А. Прищепов, Д.М. Иванов, Е.М. Прищепова // Агротранспорт. – 2017. – №3. С. 26–34.

3. Макаров А.В., Вечеркин М.В., Завьялов А.С. Обзор тепловых моделей асинхронных двигателей. – Электротехнические системы и комплексы, (2013), 21, С. 75–84.

4. Дорохина Е.С. Мониторинг теплового состояния асинхронных тяговых электродвигателей. – Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н. по специальности 05.09.01. – Томск, 2015.

5. Анучин А.С., Федорова К.Г., Двухмассовая тепловая модель асинхронного двигателя, Электротехника, №2, 2014 г., С. 21–24.

6. Федорова К.Г. Применение двухмассовой тепловой модели для организации защиты в частотно-регулируемом асинхронном электроприводе. – Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н. по специальности 05.09.03. – Москва, 2018.

**Дайнеко В.А., к.т.н., зав кафедрой ЭСХП,
Прищепова Е.М., к.т.н., доцент, Крупеня В.И., ассистент
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь**
**ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ РЕГУЛЯТОРОВ
ЗАГРУЗКИ И УСТРОЙСТВ ПЛАВНОГО ПУСКА
АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ**

Основными недостатками асинхронных электродвигателей (АД) являются большой пусковой ток и проблемы согласования крутящего момента двигателя с моментом сопротивления нагрузки. В процессе прямого пуска крутящий момент превышает номинальный в 1,5–2 раза, что приводит к авариям и повреждениям в ЭП. При малых нагрузках коэффициент мощности и к.п.д. АД снижаются.

Простые устройства плавного пуска (УПП) применяются в регулируемых ЭП с АД и устраняют основные недостатки прямого пуска: ударный ток статора и колебательный момент большой амплитуды. Провал питающего напряжения, обусловленный сверхтоком обмотки статора при пуске снижается, но искажение формы питающего напряжения существенно увеличивается [1, 2, 3], а нагрев АД возрастает. По окончании разбега электродвигателя, УПП, как правило, подключают его обмотки на полное напряжение питающей сети.