

Библиографический список

1. Харламов, В. В. Методы и средства диагностирования технического состояния коллекторно-щеточного узла тяговых электродвигателей и других коллекторных машин постоянного тока [Текст]: монография / В. В. Харламов - Омск, 2002. – 233 с.
2. Харламов, В. В. Определение диагностических параметров для оценки состояния профиля коллектора тягового электродвигателя [Текст]/ В. В. Харламов, Р. В. Сергеев, П. К. Шкодун, Д. А. Ахунов, А. В. Долгова // Омский научный вестник. Сер. «Приборы, машины и технологии». - Омск, 2011. Вып. 1 (97). – с. 121–125.
3. Харламов, В. В. Совершенствование процесса диагностирования профиля коллектора тяговых электродвигателей с помощью прибора ПКП-4М [Текст] / В. В. Харламов, П. К. Шкодун, Д. А. Ахунов, А. С. Хлопцов // Известия Транссиба. Омск, 2013. № 1 (13).с. 42–48.
4. Долгова, А. В. Совершенствование метода оценки износа коллектора тягового электродвигателя [Текст]/ А. В. Долгова // Омский научный вестник. Сер. «Приборы, машины и технологии». – Омск, 2012. – Вып. 3 (113). – С. 227–231.
5. Долгова, А. В. Совершенствование технологии диагностирования коллекторно-щеточного узла тяговых электродвигателей магистральных электровозов: автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.22.07 / Долгова Анна Владимировна - Омск, 2013. – 20 с.

УДК 621.313

Е. С. Дорохина, А. А. Хорошко (ТПУ)

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ РЕГИСТРАЦИИ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

В настоящее время диагностика теплового состояния электрических машин является актуальной задачей, поскольку электродвигатели являются наи-

более нагруженным оборудованием любой энергосистемы с точки зрения комплексного воздействия на них электрических, механических, тепловых и климатических факторов [1]. Создание системы автоматической регистрации теплового состояния электродвигателей позволит определить их срок службы и межсервисный интервал в зависимости от условий эксплуатации.

Учитывая современный уровень развития измерительной и электронной техники, систем передачи, обработки и хранения информации, имеется возможность создать такую систему регистрации теплового состояния электродвигателей со сбором, обработкой и анализом всей необходимой информации, и передачей этой информации в реальном режиме времени на автоматизированное рабочее место оператора.

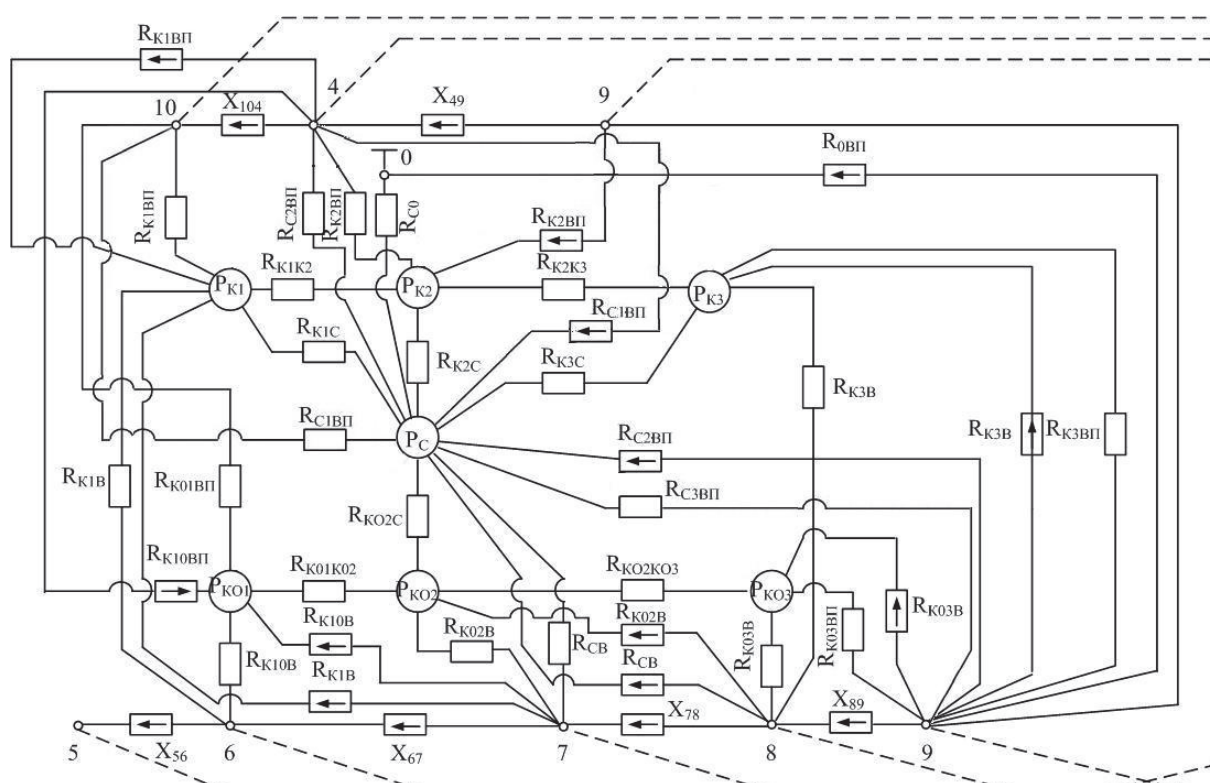


Рис. 1 – Фрагмент тепловой схемы для главного полюса ТЭД ТЛ-2К1:

P_{K1} – потери в лобовой части катушки ГП со стороны коллектора; P_{K2} – потери в средней части катушки ГП; P_{K3} – потери в лобовой части катушки ГП со стороны противоположной коллектору; P_{KO1} – потери в лобовой части катушки КО со стороны коллектора; P_{KO2} – потери в пазовой части катушки КО; P_{KO3} – потери в лобовой части катушки КО со стороны противоположной коллектору; P_C – потери в стали сердечника ГП

Основная идея данной системы регистрации теплового состояния заключается в следующем: если известна температура поля электрической машины, то используя температуру легкодоступных точек электродвигателя, путем об-

ратного пересчета можно получить значения температур в критических точках, оказывающих наибольшее влияние на износ двигателя и его частей [2]. Наиболее доступными точками являются: корпус двигателя, подшипниковый щит, подогрев воздуха (разница температур на входе и на выходе в машину). В качестве приборов для контроля используются тепловизоры и термопары.

Для решения данной задачи была разработана математическая модель электродвигателя, которая позволяет судить о его тепловом состоянии, рассчитывая температуры отдельных узлов машины. Работу математической модели определяют четыре переменных параметра: ток якоря, ток возбуждения, скорость вращения якоря и температура на входе электродвигателя.

Математическая модель была разработана на примере тягового электродвигателя постоянного тока ТЛ-2К1. По аналогии данной модели могут быть разработаны подобные модели для других электродвигателей с учетом применяемых изоляционных материалов.

Картина состояний тепловых процессов в главном полюсе электродвигателя представлена на рис.1. Полная тепловая схема двигателя включает в себя также добавочные полюса и якорь, объединенные в единую цепь, с опорным узлом (общей точкой) по внутреннему охлаждающему воздуху. Введение опорного узла в схему необходимо с учетом того, что в крупных машинах с аксиальной системой охлаждения возможно повышение температуры потока проходящего по машине до величины в 1,5 раза от температуры воздуха на входе в систему охлаждения.

Для определения локального места перегрева в тепловой схеме предусмотрена следующая детализация: все обмотки (главных полюсов, добавочных полюсов, компенсационная и якоря) представлены тремя частями. Среди них: активная или пазовая часть, расположенная вдоль оси машины, и две боковые или лобовые части каждой обмотки со стороны коллектора и со стороны, противоположной коллектору. Эти части являются тепловыделяющими, но находятся в разных условиях охлаждения. Отдельно выделены потери в полюсном наконечнике главных полюсов и якоря.

Система уравнений, описывающих процесс передачи тепла в двигателе согласно эквивалентной тепловой схеме, строится аналогично первому закону Кирхгофа и выражает факт, что при стационарных режимах в узлах цепи не может происходить накопления тепловой энергии. Так уравнение теплового ба-

ланса для пазовой части обмотки главных полюсов имеет следующий вид:

$$P_{K2} = \nu_{K2} \cdot (\lambda_{K1K2} + \lambda_{K2C} + \lambda_{K2K3} + \lambda_{K2BП} + \lambda_{K2O}) - \nu_{K1} \cdot \lambda_{K1K2} - \nu_C \cdot \lambda_{K2C} - \nu_{K3} \cdot \lambda_{K2K3} - \nu_4 \cdot \lambda_{K2BП} - \nu_O \cdot \lambda_{K2O} \quad (1)$$

Уравнение, определяющее подогрев воздуха в области воздушного зазора двигателя:

$$P_7 = \nu_7 \cdot (\lambda_B + \lambda_{ПВ} + \lambda_{AB} + \lambda_{CB} + \lambda'_{CB} + \lambda'_{K2B} + \lambda_{K02B}) - \nu_6 \cdot X67 - \nu_{Л1} \cdot \lambda_{Л1B} - \nu_{K01} \cdot \lambda_{K01B} - \nu_{K1} \cdot \lambda_{K1B} - \nu_C \cdot \lambda_{CB} - \nu'_C \cdot \lambda'_{CB} - \nu'_{K1} \cdot \lambda'_{K1B} - \nu'_{K2} \cdot \lambda'_{K2B} - \nu_{П} \cdot \lambda_{ПВ} - \nu_A \cdot \lambda_{AB} - \nu_{K02} \cdot \lambda_{K02B} \quad (2)$$

Система уравнения для тепловой схемы представлена в матричной форме вида:

$$|P| = |\lambda| \cdot |\nu|, \quad (3)$$

где $|\lambda|$ - квадратная симметричная матрица взаимных и собственных проводимостей, $|\nu|$ - матрица-столбец неизвестных, $|P|$ - вектор приведенных тепловых потерь источников теплоты.

Решение уравнения имеет вид:

$$|\nu| = |P| \times |\lambda|^{-1}, \quad (4)$$

где $|\lambda|^{-1}$ - обращенная матрица проводимостей.

Данная модель позволяет вычислить установившиеся температуры различных узлов ТЭД постоянного тока, учитывает температуру окружающей среды и производительность вентилятора воздушного принудительного охлаждения.

На практике эксплуатации тяговых электрических машин наиболее распространенным является работа двигателей в нестационарных режимах, возникающих при пуске двигателей, отключении, торможении, изменении нагрузки и частоты вращения машин [1]. Эти режимы сопровождаются быстрым и опасным повышением температуры отдельных узлов двигателей [1]. Неоднократные превышения допустимой температуры элементов конструкции электродвигателя приводят к преждевременному выходу из строя ТЭД. Для возможности использования разработанной модели для динамических режимов работы ТЭД необходимо производить корректировку установившихся температур двигателя.

Корректировка заключается в определении фактического времени нагрева

опорного узла, по которому определяются температуры остальных узлов электродвигателя. В качестве опорного узла тягового электродвигателя был выбран корпус ТЭД, так как контролирование его температуры возможно при помощи установления на нем термопары.

Для осуществления данной корректировки необходимо определить постоянные нагрева элементов двигателя, с учетом внутреннего и внешнего теплового сопротивления узлов двигателя при определенных условиях охлаждения:

$$T = cM / (\lambda_{\alpha} + \lambda_{\lambda}), \quad (5)$$

где c – теплоемкость материала; M – масса узла; λ_{α} – внешнее тепловое сопротивление, характеризующееся конвективным теплообменом; λ_{λ} – внутреннее тепловое сопротивление, характеризующееся теплопроводностью материала.

Располагая информацией о температурах опорного узла: фактическую, полученную посредством измерения термопарой и установившуюся, рассчитанную с помощью ТММ, а так же информацию о постоянной нагрева данного узла, становится возможным определение времени фактического нагрева этого узла:

$$t_{\phi} = -T \cdot \ln \left(\frac{\Theta_K - \Theta_{уст}}{\Theta_0 - \Theta_{уст}} \right), \quad (6)$$

где T – постоянная нагрева корпуса с учетом условий его охлаждения; Θ_K – температура корпуса, измеренная при помощи термопары; $\Theta_{уст}$ – установившаяся температура корпуса, рассчитанная при помощи ТММ; Θ_0 – температура окружающей среды.

Таким образом, информация о фактическом времени нагрева опорного узла позволяет произвести расчет фактических температур нагрева элементов конструкции электродвигателя по средствам применения кривых нагрева:

$$\Theta_{\phi} = \Theta_{уст} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t_{\phi}}{T}} \right) + \Theta_0 \cdot e^{-\frac{t_{\phi}}{T}}, \quad (7)$$

где Θ_{ϕ} – фактическая температура узла; $\Theta_{уст}$ – установившаяся температура узла, рассчитанная по ТММ; T – постоянная нагрева узла, с учетом условий его охлаждения.

Для проверки адекватности расчетов разработанной модели были проведены экспериментальные исследования на реальном двигателе. Схема разме-

щения датчиков на испытуемом ТЭД приведена на рис. 2.

В результате экспериментальных исследований были получены данные для температур узлов двигателя ТЛ-2К1 и рассчитана погрешность расчета температур по модели. Данные приведенные в табл. 1.

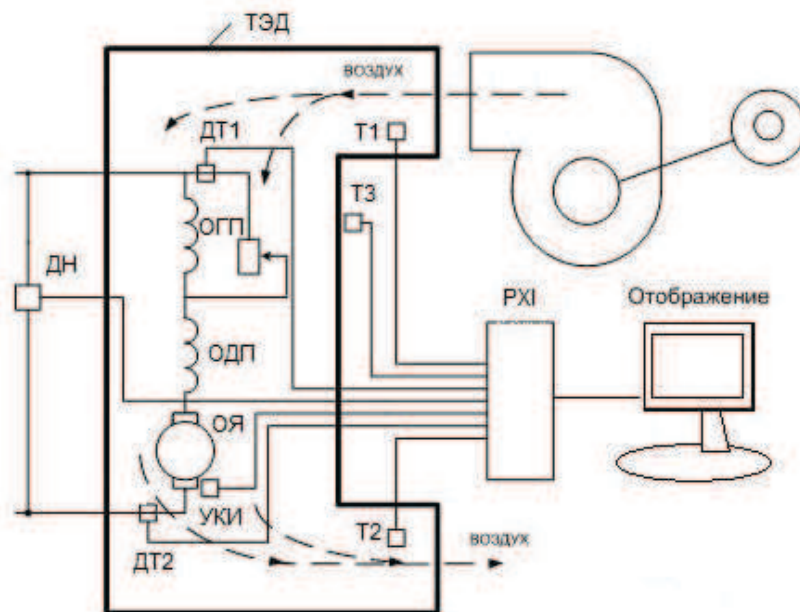


Рис. 2. Схема размещения датчиков на ТЭД:

ДТ1, ДТ2 – датчики тока, ДН – датчик напряжения, Т1, Т2, Т3 – датчики температуры соответственно: входного воздуха, выходного воздуха и остова, УКИ – датчик скорости

Табл.1. Результаты исследований и погрешность расчета

Наименования узлов ТЭД	Экспериментальные значения температур, °С	Температуры, рассчитанные методом моделирования, °С	Погрешность, %
Коллектор	54	55	1,9
Пазовая часть ОЯ	66	67	1,5
Лобовая часть ОЯ	65	67	3,1
Сталь якоря	59	60	1,7
Пазовая часть обмотки ГП	72	70	2,8
Лобовая часть обмотки ГП	73	74	1,4
Сталь ГП	66	68	3,0
Пазовая часть обмотки КО	75	77	2,7
Пазовая часть обмотки КО	70	72	2,8
Пазовая часть обмотки ДП	67	69	2,9
Пазовая часть обмотки ДП	70	74	5,7
Сталь ДП	65	69	6,2
Выходная температура воздуха	40	40	0,00
Остов	54	54	0,00

Максимальное расхождение расчетных данных температур, с измеренными пирометром не превышает значения 7%, что говорит о сходимости расчетных данных, производимых по математической модели с экспериментальными.

Таким образом, разработанная модель позволяет с достаточной точностью определять температуры разных узлов ТЭД в реальном времени в течение длительного процесса испытаний или эксплуатации; реализовать на практике определение температур узлов, недоступных для непосредственного измерения.

Библиографический список

1. Филиппов, И.Ф. Теплообмен в электрических машинах[Текст]: Учебное пособие для вузов./ И.Ф. Филиппов –Л.: Энергоатомиздат, 1986.–256с.
2. Сипайлов, Г.А. Тепловые, гидравлические и аэродинамические расчеты в электрических машинах[Текст]: учебное пособие / Г. А. Сипайлов, Д. И. Санников, В. А. Жадан. – М.: Высшая школа, 1989. – 239 с.

УДК621.33.025

Е. Ю. Дульский (ИрГУПС)

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ИК-ЭНЕРГОПОДВОДА В ТЕХНОЛОГИИ ПРОДЛЕНИЯ РЕСУРСА ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В настоящее время на сети железных дорог Восточного региона парк электровозов нового поколения серии «ЕРМАК» составляет уже порядка 300 единиц. В качестве тяговых на данных сериях электровозов используются коллекторные двигатели типа НБ-514Б. Как показывает статистика, по количеству отказов эти двигателя занимают одно из первых мест среди прочего оборудования электровоза (рис. 1). Главная причина отказов тяговых двигателей (ТД) НБ-514Б это низкий ресурс изоляции их обмоток, как остова, так и якоря(табл. 1).