

**В.В. НАНИЙ**, канд. техн. наук, доцент, НТУ "ХПИ", Харьков  
**А.В. ЕГОРОВ**, аспирант, НТУ "ХПИ", Харьков  
**А.Г. МИРОШНИЧЕНКО**, канд. техн. наук, доцент, НТУ "ХПИ", Харьков

## **ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛООВОГО РАСЧЕТА ДВИГАТЕЛЯ С КАТЯЩИМСЯ РОТОРОМ**

Рассмотрено тепловое состояние двигателя с катящимся ротором (ДКР) на базе шести полюсной конструкции машины. Составлена эквивалентная тепловая схема и проведен расчет температуры нагрева обмотки ДКР. Полученные данные сравнены с опытными результатами.

Розглянуто тепловий стан двигуна з ротором, що котиться (ДРК), на базі шести полюсної конструкції машини. Складена еквівалентна теплова схема і був проведений розрахунок температури нагріву обмотки ДРК. Отримані дані порівняні з дослідними результатами.

**Введение.** Двигатели с катящимся ротором (ДКР) способны обеспечивать высокие значения моментов при малых массогабаритных показателях и низких скоростях вращения, поэтому они могут заменить редукторные электроприводы.

Расчеты теплового состояния ДКР на данный момент практически отсутствуют, однако учет температур отдельных узлов двигателя может позволить оптимизировать массогабаритные показатели двигателя, при режимах работы привода ПВ-25 и ПВ-5.

**Цель работы** – анализ теплового состояния ДКР на основе эквивалентной тепловой схемы. В статье рассмотрены задача расчета теплового состояния ДКР с помощью эквивалентной тепловой схемы (ЭТС), и сравнение полученных результатов с экспериментом.

**Структура эквивалентной тепловой схемы.** В двигателе с катящимся ротором, структура ЭТС и ее качественный состав определяется конструктивным исполнением двигателя. В отличие от других электрических машин, при тепловом расчете ДКР необходимо учитывать потери от трения-качения ротора по внутренней поверхности статора (рис. 1).

Сила трения возникает за счет большой силы одностороннего магнитного притяжения (сотни Ньютонов). При частоте питающей сети 50 Гц, скорость обкатывания линии касания, которая на рис. 1

вырождается в т. А, может составлять от 3000 до 6000 мин<sup>-1</sup>. При частоте 6 Гц – 360 мин<sup>-1</sup>.

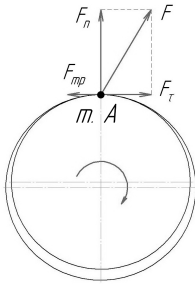


Рис. 1.

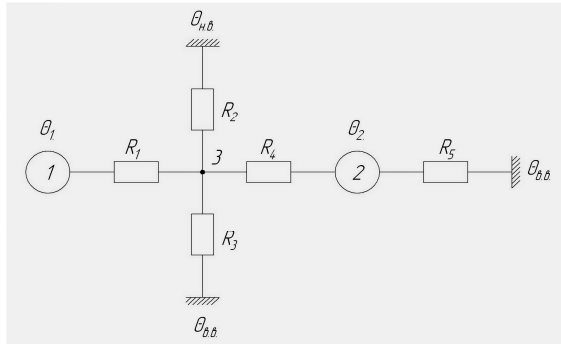


Рис. 2

Тепловой расчет ДКР проведен с использованием универсальных ЭТС [1], адаптированных к условиям поставленной задачи. ЭТС ДКР показана на рис. 2.

Данная ЭТС составлена для случая питания ДКР от полупроводникового преобразователя прямоугольными импульсами напряжения частотой 6 Гц и содержит 3 узла: узел 1- обмотка ДКР, мощность тепловыделения равна потерям в обмотке статора; узел 2 – линия касания ротора и статора, мощность тепловыделения равна потерям на трение-качения ротора о статор; узел 3 – сердечник статора, принимается пассивным.  $\theta_{вв}$  и  $\theta_{нв}$  – температуры внутреннего и наружного воздуха соответственно.

Структура ЭТС предполагает следующее распределение тепловых потоков:

- тепло, выделенное в обмотке, отводится через тепловое сопротивление  $R_1$  от наружной поверхности обмотки к сердечнику статора, далее через тепловое сопротивление  $R_2$  к наружному воздуху и через тепловое сопротивление  $R_3$  к внутреннему воздуху.

- тепло, выделенное в линии касания ротора о статор, отводится через тепловое сопротивление  $R_4$  к сердечнику статора и тепловое сопротивление  $R_5$  к внутреннему воздуху через ротор.

Для расчета приняты следующие теплофизические параметры:

- эквивалентная теплопроводимость многовитковой катушки

$$\lambda_{\text{ЭКВ}} = 1,4 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}};$$

$$- \text{теплопроводность изоляции обмотки } \lambda_{\text{ИЗ}} = 0,18 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}};$$

$$- \text{теплопроводность стали станины } \lambda_{\text{СТ}} = 34 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}};$$

$$- \text{коэффициент теплоотдачи с внутренней поверхности статора и ротора } \alpha_{\text{СТ ВВ}} = 42,2 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}};$$

$$- \text{коэффициент теплоотдачи с наружной поверхности статора } \alpha_{\text{СТ НВ}} = 18 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}.$$

Коэффициенты теплоотдачи определялись по [1, 2, 3] с учетом особенностей конструктивного исполнения.

**Уравнения теплового баланса.** На основании ЭТС составлена система уравнения теплового баланса. При этом тепловые сопротивления заменены на тепловые проводимости:

$$\begin{cases} \Theta_1 \cdot \Lambda_1 - \Theta_2 \cdot 0 - \Theta_3 \cdot \Lambda_1 = p_1; \\ -\Theta_1 \cdot 0 + \Theta_2 \cdot \Lambda_2 - \Theta_3 \cdot \Lambda_4 = p_2 + \Theta_{\text{ВВ}} \cdot \Lambda_5; \\ -\Theta_1 \cdot \Lambda_1 - \Theta_2 \cdot \Lambda_4 + \Theta_3 \cdot (\Lambda_1 + \Lambda_2 + \Lambda_3 + \Lambda_4) = \Theta_{\text{НВ}} \cdot \Lambda_2 + \Theta_{\text{ВВ}} \cdot \Lambda_3, \end{cases}$$

где  $\Theta_1, \Theta_3$  – температуры обмотки и сердечника катушки соответственно;  $\Theta_2$  – температура линии касания статора и ротора;  $p_1$  – потери в обмотке на один полюс;  $p_2$  – потери от трения ротора о статор;  $\Theta_{\text{ВВ}}, \Theta_{\text{НВ}}$  – температуры внутреннего и наружного воздуха соответственно.

Температура  $\Theta_{\text{НВ}}$  принята равной  $40^\circ\text{C}$ , а температура  $\Theta_{\text{ВВ}}$  определяется  $\Theta_{\text{НВ}}$  и суммой греющих потерь двигателя.

Результаты расчетов тепловых проводимостей и потерь сведены в табл. 1.

Таблица 1 – Расчетные величины тепловых проводимостей.

$\Lambda_1$	$\Lambda_2$	$\Lambda_3$	$\Lambda_4$	$\Lambda_5$	$p_1$	$p_2$
0,231	2,889	4,11	1,03	1,805	5,34	40,8

**Выводы.** На основе предложенной схемы теплового состояния ДКР рассчитаны температуры обмоток и сердечника соответственно:  $\Theta_1 = 128,3$  °C,  $\Theta_2 = 86,6$  °C,  $\Theta_3 = 105,2$  °C.

При проведении эксперимента получены следующие значения: температура обмотки 131 °C, температура наружной поверхности статора 64 °C.

**Список литературы:** 1. *Бертинов А.И., Варлей В.В.* Электрические двигатели с катящимся ротором. – М.: Энергия, 1969. – 200 с. 2. *Борисенко А.И., Данько В.Г., Яковлев А.И.* Аэродинамика и теплопередача в электрических машинах – М.: Энергия, 1974. – 560 с. 3. *Сипайлов Г.А., Санников Д.И., Жадан В.А.*, Тепловые, гидравлические и аэродинамические расчеты в электрических машинах – М.: Высшая школа, 1989. – 239 с.



**Наний Виталий Викторович**, доцент, кандидат технических наук. Закончил в 1980 г. Харьковский политехнический институт по специальности "Электрические машины". В 1987 г. защитил диссертацию в Харьковском политехническом. На данный момент работает в НТУ "ХПИ" на должности доцента кафедры электрических машин. Научные интересы связаны с исследованием двигателей с катящимся ротором и совершенствованием их параметров.



**Мирошніченко Анатолій Георгієвич**, доцент, кандидат технических наук. Закончил в 1972 г. Харьковский политехнический институт по специальности "Электрические машины и аппараты". В 1987 г. защитил диссертацию в Харьковском политехническом. Научные интересы связаны с исследованием и разработкой сверхпроводниковых электрических машин, разработка и исследование двигателей с катящимся ротором, технологические проблемы ремонта электрических машин



**Егоров Андрей Владимирович**, аспирант кафедры электрических машин. В 2009 г. защитил диплом магистра в Харьковском политехническом институте по специальности "Электрические машины и аппараты". Ассистент кафедры электрических машин с 2009 г. Научные интересы связаны с исследованием двигателей с катящимся ротором.

*Надійшла до редколегії 17.11.2009*